ȘTIINȚA PENTRU TOȚI
41

CĂLIN STOICESCU

Culorile în natură



Știința pentru toți

Cunoștințe despre univers

COLECȚIA ȘTIINȚA PENTRU TOȚI
apare sub egida
CONSILIULUI NAȚIONAL
al
FRONTULUI UNITĂȚII SOCIALISTE

CĂLIN STOICESCU

5/5'88

Culorile în natură

60087





EDITURA ŞTIINŢIFICĂ ŞI ENCICLOPEDICĂ
Bucureşti, 1978

Coperta colecţiei: EUGEN KERRY

Redactor: DELIA IACOB

Tehnoredactor: CONSTANTIN IORDACHE

INTRODUCERE

Se spune că pictura, aspirația omului de a reda imensa varietate și bogăție de nuanțe din jurul lui, se confundă cu istoria civilizației. Goethe afirma că tot ceea ce este viu aspiră către culoare. Într-adevăr culoarea stăpînește întreaga natură, atît lumea minerală cu minunatele nuanțe de culori ale pietrelor nestemate și ale mineralelor colorate, cît mai ales lumea vegetală și animală în care gama combinațiilor de culori și nuanțe este mult mai bogată și de cele mai multe ori determinantă a existenței. Să ne gîndim doar la rolul clorofilei — colorantul verde al tuturor frunzelor și plantelor verzi și care este de fapt sediul unde pulsează viața plantei, unde se efectuează una din cele mai extraordinare realizări ale naturii — formarea substanței organice din aer și lumină; să ne gîndim la ce înseamnă hemoglobina — substanța care colorează sîngele animalelor și omului — banda transportoare de oxigen, fără de care nu s-ar putea concepe existența ființelor superioare. Culorile din natură nu sînt întîmplătoare, acumularea de substanțe colorate în petalele florilor sau aripioarelor atît de meșterit desenate ale insectelor și păsărilor este o condiție esențială pentru existența speciei, chiar dacă pînă acum acest lucru nu a fost încă deplin descifrat. Multe specii de animale au reușit să

supraviețuiască de-a lungul mileniilor luîndu-și ca unică măsură de apărare o anumită culoare care să le confunde cu natura înconjurătoare. Se constată că florile sînt viu colorate pentru ca, pe lîngă nuanțele subtile de parfumuri pe care le răspîndesc, să atragă și pe această cale insectele care asigură fecundarea și dezvoltarea speciei, proprietatea de a vedea culorile și a deosebi nuanțele nefiind doar un apanaj al omului.

Culoarea este integrată organic în viața omului. Dorința omului de a reproduce culorile naturii, de a se înconjura de obiecte colorate, pe scurt dorința de frumos, nu este o modă artificială apărută pe o anumită treaptă istorică determinată, ci un fenomen organic, o manifestare a procesului vital.

Oare poate fi imaginată o lume incoloră sau în care toate obiectele din jurul nostru să aibă aceeași culoare unică? Lumea monocromă ar fi monotonă, apăsătoare, tristă. Psihologia omului ar fi fost schimbată și acest lucru a fost verificat la bolnavii care văd „viața în roz", dar într-un roz monoton și trist. Echilibrul psihic uman are nevoie nu numai de toată gama de nuanțe colorate pe care i le oferă natura, ci își creează continuu noi și noi substanțe colorate, noi și noi combinații de culori.

Odată cu apariția omului a început să se dezvolte și chimia culorilor, căci omul, veșnic în căutare de nou, a încercat să-și procure culorile din natură, să învețe să le obțină, să le folosească și să inventeze altele noi.

În cele mai vechi vestigii ale existenței omului întîlnim urme de culoare, nu întîmplătoare, ci cu bună știință aplicată fie pe vasele de lut, fie pe picturile rupestre descoperite în toate regiunile globului — Tassili în Sahara, Altamira în Spania, Lascaux în Franța, ca să nu amintim decît cele mai celebre. Coloranții utilizați erau pigmenți minerali, ușor accesibili, cum ar fi creta sau diverse pămînturi colorate dintre care cel mai

des întîlnit este ocrul natural (roșu sau galben) și cărbunele fin mărunțit.

Odată cu dezvoltarea mijloacelor de producție s-au intensificat și căutările oamenilor de a descoperi noi coloranți și de a-i utiliza atît în scopuri practice, cît și ornamentale. Se pare că egiptenii au fost primii care au știut să vopsească țesăturile folosind produse de proveniență vegetală și animală, coloranții minerali fiind folosiți la colorarea sticlei. În evul mediu se mai foloseau încă unele vechi rețete egiptene pentru obținerea anumitor nuanțe la vopsitul stofelor.

Paternitatea descoperirii și folosirii coloranților o revendică însă și chinezii, meșteri în vopsirea mătăsurilor. Culoarea îmbrăcăminții la chinezii de acum 3 000 de ani definea rangul social, ierarhia culorilor probabil că fusese stabilită în funcție de prețul de cost al vopselelor folosite: galbenul era culoarea împăratului, urmînd apoi în ordine movul, albastrul, roșul și negrul. Alți istorici ai civilizației afirmă că India ar fi fost leagănul vopsitoriei. Și aici regăsim corelări între caste și culoarea veșmintelor. Oricum, obținerea și folosirea unor anumiți coloranți era un secret de castă bine păstrat și aprig disputat. În orice caz egiptenilor le revine cu siguranță cinstea creării celor mai rafinate produse cosmetice ale timpului. Pleoapele verzi sînt vechi de cînd piramidele!

Dacă substanțele colorate minerale se găseau sub formă de zăcăminte de minereuri, iar obținerea lor implica procese simple de prelucrare a mineralului, descoperirea și extracția colorantului de origine animală sau vegetală reprezenta un adevărat proces tehnologic chimic care se efectua în microcombinate chimice, sub îndrumarea unor adevărați ingineri chimiști ai antichității. Să nu uităm că specialiștii chimiști ai antichității descoperiseră nu numai metodele de a extrage materiile colorante din lumea animală și vegetală, dar, mai mult,

știau să supună unele materii prime incolore — pe care astăzi le numim leucobaze — unor tratamente și reacții chimice necesare pentru a le transforma în substanțe colorante. Putem așadar afirma că știința chimiei a apărut și s-a dezvoltat din aspirațiile omului pentru frumos, din nevoia de a-și îmbogăți universul spiritual, din dorința de a imita lumea care îl înconjura și din lupta sa pentru progres.

Epoca coloranților naturali a fost întreruptă doar în 1856 prin prepararea primului colorant sintetic — mauveina — de către Perkin. Acest prim succes al chimiei „moderne" a dus la o avalanșă de descoperiri și crearea în această perioadă scurtă de numai 100 de ani a unui număr fabulos și în continuă creștere de coloranți sintetici pentru satisfacerea cît mai completă a tuturor cerințelor. Căutările oamenilor însă nu se vor opri niciodată și chimia coloranților se va dezvolta la fel de vertiginos ca și pînă acum, aducîndu-și aportul la înfrumusețarea vieții oamenilor. Totodată curiozitatea chimiștilor, îmbinată cu cea a biologilor, va căuta să dezlege tainele minunatelor culori ale naturii și importanța lor în viața florilor, insectelor, păsărilor. Dacă interesul pentru coloranții naturali ca materii colorante astăzi a dispărut aproape complet, în schimb au trezit interesul ca obiect de studiu, iar în momentul de față studiul chimiei coloranților naturali este în plină desfășurare.

Vom încerca aici să prezentăm cîteva din cunoștințele actuale despre coloranții naturali, după ce vom defini mai întîi noțiunea de culoare și mecanismul vederii în general și al vederii colorate în particular. În fine, vom revedea pe scurt istoricul folosirii coloranților naturali de-a lungul veacurilor și unele aplicații actuale încă importante.

I. CE ESTE CULOAREA?

Această lume feerică, organic integrată în viața și existența omului, lumea colorată care ne înconjoară, lume pe care nu ne-o putem închipui în alt fel, este strict determinată de lumină, nu poate exista în afara ei. Sursa naturală de lumină pentru noi, locuitori ai Terei, este reprezentată în esență de soare, a cărui capacitate de iluminare este aproximativ egală cu lumina care ar fi furnizată de circa 3 miliarde de miliarde de miliarde de lumînări. Distanța de 149.500.000 km de la soare la pămînt este parcursă de raza de lumină în numai 8 minute. Viteza cu care se deplasează lumina este deci extrem de mare, de aproximativ 300.000 km/s.

Așadar, pentru a putea înțelege ce este culoarea și ce sînt coloranții, trebuie mai întîi să cunoaștem cauza care determină aceste proprietăți. Să vedem deci ce este lumina.

Lumina este una din formele sub care se prezintă materia în mișcare și are proprietatea de a transporta energie, adică energie luminoasă sau radiantă. Cercetările mai noi în domeniul opticii definesc lumina ca o radiație electromagnetică, adică un cîmp electromagnetic care se propagă sub formă de unde electromagne-

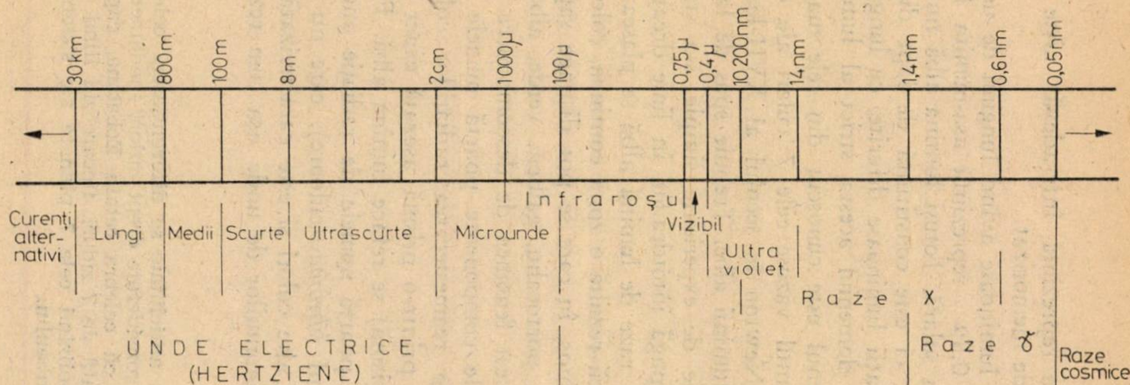
tice, transportînd energie sub formă de fotoni. Această teorie asupra naturii luminii, propusă inițial de Maxwell în 1869 și dezvoltată și finisată de Einstein, împacă cele două teorii clasice privind natura luminii — teoria naturii corpusculare a lui Newton și teoria ondulatorie propusă inițial de Huygens, reluată și dezvoltată apoi de Young și Fresnel.

În teoria corpusculară propusă de Newton se preconiza că din sursa luminoasă — soarele, lumînarea etc. — se desprind particule foarte mici de materie care se răspîndesc în toate direcțiile cu viteză foarte mare. Teoria ondulatorie presupune în schimb că lumina, asemenea sunetului, se propagă prin unde care vibrează perpendicular pe direcția de deplasare a razei luminoase.

Radiațiile electromagnetice se caracterizează fie prin frecvență (ν), adică numărul de vibrații pe secundă, fie prin lungimea de undă (λ), adică distanța dintre două vibrații succesive. Cele două valori sînt invers proporționale după relația $\lambda = c/\nu$, în care c reprezintă viteza luminii.

Clasificarea radiațiilor electromagnetice (fig. 1) se face de obicei în funcție de lungimea lor de undă, deoarece cifrele au valori mult mai mici și sînt mai ușor de memorizat.

Prin termenul lumină sau lumină vizibilă se înțelege, în mod obișnuit, doar acea parte a radiațiilor electromagnetice capabile să impresioneze retina ochiului, deci să fie percepute de om. Acest domeniu al luminii vizibile pentru ochiul omenesc se situează doar între 0,4 și 0,8 μ (0,00004—0,00008 cm^{-1}), ceea ce reprezintă numai 1/25.000.000.000 din întregul domeniu al radiațiilor electromagnetice. Exprimat în valori de frecvență, intervalul corespunzător luminii vizibile este între 374.745.000.000.000 și 749.490.000.000.000 vibra-


30km
800m
100m
8m
2cm
1000μ
100μ
0,75μ
0,4μ
10 200nm
14nm
1,4nm
0,6nm
0,05nm
Infraroşu
Vizibil
Curenţi alter-nativi
Lungi
Medii
Scurte
Ultrascurte
Microunde
Ultra violet
Raze X
Raze γ
Raze cosmice
UNDE ELECTRICE
(HERTZIENE)

ţii/s, ceea ce reprezintă într-adevăr nişte cifre uriaşe foarte greu de memorizat.

Radiaţiile luminoase avînd lungimi de undă cuprinse între 0,4 şi 0,8μ reprezintă aşa-numita lumină albă, adică lumina solară. Totuşi lumina albă nu este o entitate în sine, ci este constituită de fapt dintr-o infinitate de radiaţii luminoase diferite, cu lungimi de undă cuprinse în domeniul acesta strict al luminii vizibile. Deşi fenomenul este cunoscut din cele mai vechi timpuri, căci omul văzuse cele 7 culori ale curcubeului*, totuşi abia Newton în secolul al XVII-lea a stabilit compoziţia luminii albe. Trebuie spus de la început că, printr-o serie de experienţe simple, s-a stabilit că lumina se propagă întotdeauna în linie dreaptă. Dacă în drumul unei raze de lumină albă se plasează o prismă, se constată că rezultă o zonă continuă, colorată, numită spectru luminos, în care se pot distinge şapte grupe de culori: roşu, portocaliu, galben, verde, albastru, indigo şi violet. Acest fenomen de descompunere a luminii în radiaţiile sale componente poartă numele de dispersia luminii. Prin reamestecarea radiaţiilor colorate (adică trecerea lor printr-o prismă aşezată exact invers faţă de prima prismă) se reface lumina albă. Fiecare radiaţie colorată poartă numele de radiaţie monocromatică (din grecescul *khrôma*=culoare), care nu se mai descompune în alte culori şi este caracterizată de anumite valori ale lungimilor de undă aşa cum rezultă din tabel:

---

* Încă din antichitate se diferenţiaseră cele 7 culori ale curcubeului, considerate drept culori fundamentale. Herodot menţionează că celebra cetate Ecbatana, capitala Mediei, era înconjurată de 7 ziduri, fiecare zid fiind vopsit în altă culoare simbolizînd cele 7 planete ale sistemului solar şi culorile curcubeului.

Culoarea	Lungimea de undă, λ(μ)
Violet	0,400—0,435
Indigo	0,435—0,450
Albastru	0,450—0,490
Verde	0,490—0,570
Galben	0,570—0,600
Portocaliu	0,600—0,620
Roşu	0,620—0,750

Aceste 7 culori se numesc culori fundamentale. Se observă din tabel că ele nu sînt „pure", deoarece fiecărei culori îi corespunde un interval mai larg sau mai îngust de lungimi de undă, deci şi ele la rîndul lor sînt amestecuri de radiaţii, dar apar ochiului omenesc ca fiind unitare. Acest spectru al culorilor fundamentale se poate compara cu o gamă muzicală, culorile diferind şi ele tot prin frecvenţă. Dealtfel, comparaţia luminii cu sunetul a intrat în vorbirea curentă căci se vorbeşte de gama culorilor, de armonia culorilor, de tonuri de culoare, de culori reci sau calde.

S-a spus mai înainte că prin reamestecarea radiaţiilor corespunzătoare celor 7 culori se reface lumina albă (recompunerea luminii), mai corect culoarea albă. Însă culoarea albă se poate obţine şi prin suprapunerea a două culori:

roşu + verde albăstrui
portocaliu + albastru verzui
galben + albastru
verde + roşu purpuriu
violet + galben verzui

Asemenea perechi de culori au fost numite culori complementare. Trebuie să reţinem că aici este vorba

de amestecarea unor radiații luminoase complementare și nu a unor corpuri colorate complementar care dau alte culori: de exemplu o vopsea galbenă amestecată cu una albastră dă un colorant verde și nu alb.

Recompunerea luminii se poate ușor vedea cu ajutorul unui dispozitiv simplu — discul lui Newton — care este un disc împărțit în 7 zone, fiecare fiind colorată într-una din culorile fundamentale. Rotind acest disc cu o anumită viteză îl vedem alb.

Într-adevăr, lumea înconjurătoare ne apare colorată, dar de fapt culoarea pe care o atribuim este în esență o convenție tacită. Dacă ne-am găsi într-o cameră luminată doar de flacăra unei lămpi de spirt în care am arunca un grăunte de sare, flacăra ar deveni galbenă iar figurile oamenilor din încăpere ar căpăta aspectul livid al unui cadavru, în timp ce obiectele colorate în roșu sau violet ar părea negre. Același efect s-ar produce și dacă încăperea ar fi luminată de un bec verde. La lumina artificială a becurilor electrice sau a lămpilor fluorescente, culoarea stofelor se schimbă față de nuanța pe care o vedem privind la lumina zilei. În concluzie se poate afirma că obiectele nu au o culoare proprie, sursa de lumină fiind unul din factorii determinanți ai culorii pe care o vedem. Pentru a simplifica lucrurile ne vom referi în continuare numai la culoarea pe care o vedem la lumina solară.

Cînd o radiație luminoasă cade pe un corp, ea poate să sufere mai multe fenomene, în funcție de natura corpului. Radiația poate fi integral reflectată. Acest lucru se produce în cazul obiectelor lucioase — oglinzile — care ne redau imaginea sursei de lumină. Radiația luminoasă care ajunge pe oglindă poartă numele de radiație incidentă, iar cea retransmisă de oglindă se numește radiație reflectată. Unghiul pe care îl face radiația incidentă cu suprafața oglinzii (unghiul de incidență) este egal cu unghiul radiației reflectate (unghiul

de reflexie). Această egalitate a celor două unghiuri explică formarea imaginilor în oglinzile plane. Întotdeauna imaginea unui obiect într-o oglindă plană este identică cu obiectul și pare plasată în spatele oglinzii la o distanță egală cu distanța oglindă-obiect. Aceasta poartă numele de „imagine virtuală".

Dacă toate suprafețele corpurilor ar fi lucioase, adică ar reflecta total radiațiile luminoase, corpurile nu s-ar mai vedea. Atunci cînd privim într-o oglindă, nu vedem oglinda, ci corpurile care se află în fața oglinzii și care au suprafețe nelucioase. Dacă toate corpurile ar reflecta total lumina, deci dacă toate corpurile ar fi oglinzi, am vedea doar un pustiu luminat orbitor și nu am putea distinge nici un obiect.

Proprietatea de reflexie a radiațiilor luminoase pe suprafețe lucioase era cunoscută încă din antichitate. Celebrul fizician Arhimede, bazîndu-se pe această proprietate de reflexie și focalizare a radiațiilor solare de către suprafețe lucioase concave, inventase o teribilă armă de luptă, utilă doar pe vreme senină, fără nori, folosind niște oglinzi concave uriașe care focalizau razele soarelui, reușind cu ajutorul lor să aprindă corăbiile de lemn ale romanilor care asediau Siracuza.

O altă posibilitate, în afară de reflexie, este ca radiația luminoasă să traverseze corpul. Asemenea corpuri, cum este sticla, sînt numite transparente. Corpurile transparente nu au umbră, așa cum se întîmplă în cazul corpurilor opace, la care umbra reproduce exact conturul corpului, deoarece lumina se propagă în același mediu întotdeauna în linie dreaptă.

Dacă intensitatea razei de lumină după ce a traversat corpul este egală cu intensitatea radiației inițiale, corpul este perfect transparent. Acest lucru este destul de rar întîlnit și depinde foarte mult de grosimea pe care o străbate raza de lumină. Dacă intensitatea luminii se micșorează după ce traversează corpul, deci o

parte din lumină a fost absorbită de corp, acesta se numește translucid.

S-a spus mai înainte că viteza luminii este de aproximativ 300.000 km/s. Această viteză depinde însă de mediul în care se propagă lumina, fiind mai mare sau mai mică în funcție de densitatea mediului prin care se propagă. Astfel viteza luminii în vid este 299.776 km/s, în apă numai 225.000 km/s, iar prin sticle de aproximativ 200.000 km/s. Aceste variații ale vitezelor de propagare ale luminii prin diverse medii determină fenomenul de refracție a luminii, care reprezintă abaterea direcției razelor la trecerea dintr-un corp transparent cu o anumită densitate în alt corp transparent cu o altă densitate. Cu toții știm că un băț cufundat în apă pare frînt. Aceasta se explică prin abaterea razei de lumină de la direcția sa de propagare prin trecerea din aer în apă. Abaterea se produce doar dacă radiația nu cade perpendicular pe suprafața de separare a mediilor. În cazul particular cînd radiația este perpendiculară pe suprafața de separare a mediilor nu se produce modificarea direcției de propagare, însă bățul cufundat în apă pare mai scurt. Unghiul dintre cele două direcții de propagare se numește unghi de refracție. Mărimea acestui unghi depinde atît de diferența de densitate a celor două medii, cît și de lungimea de undă a radiației. De fapt descompunerea luminii reprezintă o dublă refracție.

În fine, radiația poate să fie absorbită de corpul pe care cade. Dacă radiațiile care compun lumina albă sînt integral absorbite, corpul este opac și îl vedem negru. De aceea este bine ca iarna să purtăm haine închise la culoare care absorb integral radiațiile luminoase, reușind astfel cît de cît să ne încălzim.

Dacă doar o parte din radiații este absorbită, iar altă parte este reflectată, corpul apare colorat în cu-

loarea pe care o reflectă. Astfel, aurul reflectă doar radiația galbenă și de aceea îl vedem galben.

De asemenea, unele corpuri pot să absoarbă anumite radiații din lumina albă, lăsînd să treacă altele, ceea ce face ca aceste corpuri să apară colorate în culoarea pe care o lasă să treacă. Cînd un corp absoarbe selectiv numai un anumit domeniu de lungimi de undă, radiațiile reziduale neabsorbite și care vor fi percepute de ochi au culoarea complementară. În tabelul care urmează s-a redat culoarea pe care o are un corp care absoarbe selectiv doar un domeniu restrîns al radiațiilor din lumina albă.

Lungimea de undă absorbită, λ (μ)	Culoarea spectrală absorbită	Culoarea complementară
0,400—0,435	violet	galben-verde
0,435—0,480	albastru	galben
0,480—0,490	albastru-verde	portocaliu
0,490—0,500	verde-albastru	roșu
0,500—0,560	verde	purpuriu
0,560—0,580	galben-verde	violet
0,580—0,595	galben	albastru
0,595—0,605	portocaliu	albastru-verde
0,605—0,760	roșu	verde-albastru

Evident că în unele cazuri corpurile pot pe de o parte să reflecte unele radiații, pe de altă parte să absoarbă alte radiații și în fine să lase să treacă alte radiații din spectrul luminii albe. Am văzut că aurul este galben pentru că reflectă radiația galbenă. O foiță subțire de aur, însă privită oblic, ne apare verde, pentru că aurul absoarbe toate celelalte radiații (în afară de galben pe care îl reflectă), dar lasă să treacă radiația verde. Acest fenomen care poartă numele de dicroism depinde de grosimea pe care trebuie să o străbată radiația luminoasă, dar intensitatea radiației reflectate

este mai puternică decît a radiației neabsorbite și de aceea aurul îl vedem galben.

Pînă acum am văzut că obiectele apar colorate datorită proprietăților de reflexie, refracție și dispersie a radiațiilor luminoase. Însuși Newton observase un fenomen curios, cunoscut pînă în prezent sub numele de inelele lui Newton, al cărui mister marele savant, pe lîngă că nu l-a putut descifra, a reprezentat și principalul cap de acuzare împotriva teoriei corpusculare propusă de el, ducînd chiar la abandonarea la un moment dat a ipotezelor lui și acceptarea explicațiilor găsite de Young și Fresnel asupra naturii luminii. Acesta este fenomenul de interferență a radiațiilor luminoase, proprietate caracteristică undelor și foarte bine explicată de teoria ondulatorie a naturii luminii.

Toată lumea s-a jucat și se joacă aruncînd pietricele în apă. Dacă apa este liniștită se formează vălurele concentrice, cu centrul în locul în care a căzut piatra și care se propagă sub formă de creste și văi. Se spune că apa face unde. Același lucru este valabil și pentru radiația luminoasă. Dacă două unde diferite se întîlnesc, apar două posibilități și anume: fie unda se accentuează atunci cînd se întîlnesc crestele sau văile între ele, fie unda se stinge atunci cînd se întîlnește o creastă cu o vale... și apa rămîne liniștită. Radiația luminoasă se comportă în exact același fel. Acest fenomen de creștere a intensității sau de stingere a luminii poartă numele de interferență, fenomen caracteristic undelor și care a stat la baza criticilor aduse lui Newton constituind dovada principală în sprijinul teoriei ondulatorii.

Datorită manifestării acestui fenomen vedem culorile curcubeului în bulele de săpun sau pe picăturile de ulei. Tot astfel se explică irizațiile sidefului sau ale aripioarelor fluturilor și libelulelor. Fluturii au aripioarele acoperite cu solzi microscopici, iar fiecare solz reflectă

și refractă diferit lumina în funcție de poziția lui și de unghiul sub care ajunge pe el raza de lumină. Astfel se produc o serie de fenomene de interferență a radiațiilor componente ale luminii albe, unele dintre ele stingîndu-se, iar altele accentuîndu-se, ceea ce redă în ansamblu irizațiile aripioarelor. Aspectul multicolor al penajului unor păsări de cele mai multe ori nu se datorează faptului că fiecare pană sau fulg ar fi colorată diferit, ci tot unor fenomene de interferență determinate de modul de aranjare și orientare a penelor și fulgilor.

Se pune deseori întrebarea de ce este cerul albastru în miez de zi și roșu la răsărit și asfințit. Acest lucru se explică prin faptul că radiațiile cu lungimi de undă mai mici (radiațiile scurte) sînt mai puternic împrăștiate de moleculele care constituie atmosfera ce înconjoară pămîntul. Radiațiile albastre, avînd lungimi de undă mai mici sînt uniform dispersate de către moleculele atmosferei și mai puternic decît celelalte radiații din spectrul luminii albe. Astfel cerul ne apare albastru . . . ca cerul.

Pentru a înțelege de ce cerul este roșu la asfințit trebuie mai întîi să acceptăm faptul curios și aparent absurd că soarele pe care îl vedem la linia orizontului este de fapt de mult apus. Atmosfera care înconjoară pămîntul este constituită dintr-o serie de straturi cu densități diferite. Raza care vine de la soare suferă o serie de refracții succesive trecînd prin diversele straturi ale atmosferei, așa cum am încercat să redăm și în figură. Noi vedem corpul luminos în prelungirea razei sale, deci soarele ne apare într-o poziție mult deasupra orizontului, cînd în realitate el se află exact la orizont. Cînd vedem soarele apropiindu-se de linia orizontului el se găsește de fapt mult sub linia orizontului, dar datorită fenomenului de refracție, ne apare mai sus. Exact același lucru se petrece la răsărit, cînd

noi vedem soarele înainte de a fi ajuns cu adevărat la linia orizontului. În aceste condiţii, razele soarelui, pentru a ajunge la noi, străbat la asfinţit şi răsărit o grosime mai mare de atmosferă şi aşa cum s-a explicat pentru culoarea albastră a cerului, radiaţiile albastre şi violete avînd o lungime de undă mai mică sînt mai

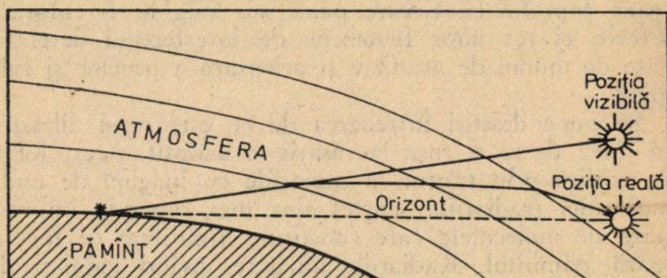


Fig. 2.

puternic dispersate, practic total, iar pînă la ochiul nostru nu parvin decît radiaţiile roşii şi galbene din spectrul luminii albe.

II. CUM VEDEM?

Pentru a pătrunde mai adînc în tainele opticii și pentru a înțelege mai bine taina culorilor din natură este foarte important să descifrăm mai întîi mecanismul intim al proceselor care se produc la nivelul organului vizual al omului, într-un cuvînt să aflăm cum vedem.

În antichitate vederea se confunda cu lumina. Euclid credea că oamenii văd pentru că din ochii lor țîșnește un fluid care ajungînd la obiect îl face vizibil. Obiectele redevin invizibile cînd închidem ochii. Epicur și mai apoi Lucrețiu creaseră germenele teoriei newtoniene, presupunînd că din obiect se desprind mici particule reproducînd identic forma obiectului și care se răspîndesc în toate direcțiile și ajungînd la ochi fac obiectul vizibil.

Capacitatea de a vedea, adică funcția vizuală a omului, se realizează în două trepte, la care participă un sistem complex numit analizor optic și care este compus din receptorul senzorial, ochiul, și o anumită zonă din scoarța cerebrală dispusă în lobul occipital. În prima treaptă a funcției vizuale se produce transformarea energiei luminoase într-un proces nervos, adică are loc excitația luminoasă. Acest proces are loc la nivelul retinei ochiului, o membrană transparentă de culoare

roz, cu o grosime variind între 0,1 şi 0,4 mm, care căptuşeşte interiorul globului ocular şi care este de fapt o continuare a nervului optic. Prin intermediul acestuia, excitaţia luminoasă este transmisă segmentului corespunzător din scoarţa cerebrală, datorită căreia excitaţia luminoasă se transformă în senzaţia luminoasă care este apoi integrată în procesul complex al cunoaşterii.

Forma atît de complicată a ochiului omului şi animalelor superioare reprezintă o adaptare complexă la condiţiile mediului exterior pentru perceperea energiei luminoase. Primul germen de organ al văzului, sub forma unui grăunte de pigment, îl întîlnim la un protozoar flagelat verde care trăieşte în apele dulci numit *Euglena viridis* (din grecescul *eugledos* — cu ochi frumoşi) cu o formă alungită, terminat la unul din capete cu un flagel cu ajutorul căruia se deplasează prin apă. La capătul flagelului se observă un punct roşiatic care conţine purpură retiniană ca şi retina ochiului animalelor superioare. Interesant mai este faptul că *Euglena* conţine clorofilă, ca şi frunzele, care îi conferă culoarea verde.

Primele forme de celule diferenţiate sensibile la lumină apar la viermii inelaţi care pot acumula şi reflecta lumina. La moluşte organele fotosensibile sînt legate de un centru nervos şi ele au capacitatea nu numai de a percepe lumina, ci şi de a se orienta, putînd să-şi dea seama şi de direcţia unde se află sursa luminoasă. La organismele mai dezvoltate, celulele fotosensibile încep să fie protejate (de exemplu prin cristalin care apare la reptilele inferioare cum este tritonul) şi să se diferenţieze pentru perceperea formelor şi culorilor. Totodată legătura nervoasă devine mai complexă, iar perceperea luminoasă se asociază cu perceperea energiei şi prin alte forme, tactilă, auditivă, gustativă.

Celulele vizuale la embrionul omului încep să se diferenţieze chiar după 18 zile de la formare, iar ochiul este aproape complet format la 3 luni.

Revenind la funcţia vizuală, ea cuprinde în esenţă trei aspecte diferite şi anume:

— perceperea luminii sau senzaţia luminoasă, adică diferenţierea intensităţii energiei luminoase;

— perceperea formelor;

— perceperea culorilor.

Aceste trei componente ale funcţiei vizuale se realizează în prima fază prin anumite reacţii chimice la nivelul retinei. S-a spus că retina este de fapt o continuare a nervului optic şi conţine un număr foarte mare de celule vizuale sensibile. Aceste celule sînt diferenţiate ca structură tipologică şi chimică în două grupe: celule cu conuri şi celule cu bastonaşe. Bastonaşele sînt cilindri cu o lăţime de 0,002 mm şi conţin 500—2 000 de pungi aplatisate numite discuri. Viaţa unui disc este de cîteva săptămîni şi diferă de la o specie la alta. Discurile se regenerează cu o viteză de un disc la 40 minute. Conurile au o lungime de 0,05 mm şi o lăţime la bază de 0,0005 mm. Ele nu se regenerează cu aceeaşi viteză ca bastonaşele. Numărul de bastonaşe în ochiul uman este de 10^8 (100.000.000), pe cînd cel al conurilor doar de $5 \cdot 10^6$.

Bastonaşele sînt sensibile la intensităţi slabe de lumină, fiind utilizate în vederea crepusculară (vedere scotoptică), dar nu diferenţiază forma şi culoarea, ci dau numai senzaţia de lumină sau întuneric. De aceea în lumină crepusculară, în semiîntuneric, cînd vederea se face numai prin intermediul celulelor cu bastonaşe, nu diferenţiem culorile şi deci noaptea toate pisicile sînt negre! Valoarea minimă a energiei luminoase necesară pentru a da senzaţia de lumină, pentru a provoca excitarea unei celule cu bastonaş, este 1/100.000.000

dintr-o candelă.* Acest lucru echivalează cu intensitatea luminoasă a sateliților planetei Jupiter (stele de mărimea a șasea) sau cu lumina unei lumînări așezată la o distanță de 27 km.

Pentru excitarea celulelor cu conuri este necesară o intensitate luminoasă de 200 de ori mai mare decît pentru bastonașe și deci ele sînt sensibile la vederea diurnă (vedere fotoptică) și diferențiază forma și culoarea.

Distribuția acestor celule pe suprafața retinei nu este uniformă, celulele cu conuri sînt așezate exclusiv în centrul retinei, fiind concentrate în special într-o zonă numită pata galbenă (*macula lutea*) în centrul căreia se găsește o mică depresiune (*fovea centralis*), de culoare brun închis care conferă acest aspect galben întregii zone. Celulele cu bastonașe se găsesc răspîndite în special spre periferia retinei și dispar treptat spre centrul său.

Chimia vederii

Procesul de percepere a senzației luminoase este bazat pe o reacție chimică produsă sub acțiunea luminii. Celulele vizuale, bastonașele și conurile, conțin cîte o substanță fotochimică specifică, complexă, care suferă o serie de transformări sub acțiunea luminii. Celulele cu bastonașe conțin ca substanță fotochimică un pigment roșu numit purpură sau rodopsină. Ea a fost descoperită încă din 1851 de H. Müller, dar rolul său a

* Candela este unitatea de intensitate luminoasă definită ca intensitatea luminoasă emisă în direcție normală de o suprafață de 1/600 000 m^2 a unui corp negru la temperatura de solidificare a platinei (1770°C) sub o presiune de 101 325 newton/m^2 (adică la presiunea atmosferică normală de 760 mm Hg).

fost pus în evidență doar 35 de ani mai tîrziu de H. Boll (1876).

Atît rodopsina, cît și iodopsina din conuri sînt compuși care fac parte din grupa proteidelor și anume din clasa cromoproteidelor.* Ambii compuși conțin aceeași grupare prostetică, dar se diferențiază după natura componentei proteinice. În cazul rodopsinei, componenta proteinică se numește opsină, iar la iodopsină proteina se numește fotopsină sau conopsină. Componenta prostetică este în ambele cazuri un compus din clasa carotinoidelor (din care face parte și vitamina A sau retinolul) și de aceea cei doi compuși mai poartă numele general de carotinoproteide.

Rodopsina este o cromolipoproteidă cu o greutate moleculară de aproximativ 35.000. Sub acțiunea radiațiilor luminoase, rodopsina se descompune reversibil și se decolorează. Prin descompunere se formează opsină și retinal (gruparea prostetică)** ce se transformă imediat în vitamină A, incoloră. La întuneric se regenerează rodopsina prin recombinarea opsinei cu vitamina A. Prezența vitaminei A în retină a fost descoperită de G. Wald în 1933. Opsina ca atare nu absoarbe lumina

---

* Proteidele sau heteroproteine sînt compuși esențiali cu greutăți moleculare foarte mari (compuși macromoleculari — biopolimeri) constituiți din două componente: proteina (sau holoproteida) și o grupare prostetică. Proteina este constituită dintr-un număr foarte mare de aminoacizi legați între ei, iar gruparea prostetică este un compus chimic legat de lanțul de aminoacizi, dar avînd o altă structură chimică. Cromoproteidele reprezintă un grup de proteide în care gruparea prostetică este o substanță colorată. Una din cele mai cunoscute cromoproteide este hemoglobina din sîngele vertebratelor.

** Alte specii animale conțin ca grupare prostetică 3-dehidroretinal, forma oxidată a vitaminei A_2, cromoproteidele respective numindu-se profiropsină și cianopsină.

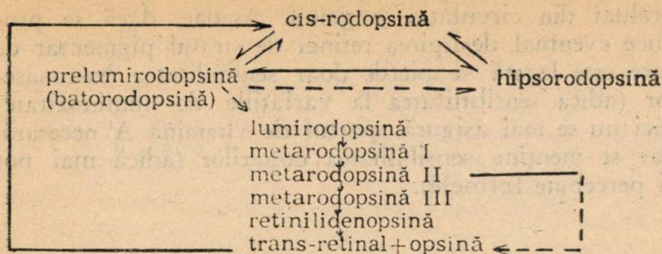
vizibilă, iar culoarea sa este dată numai de prezența retinalului.

Din punct de vedere al structurii chimice retinalul conține o funcțiune aldehidică (—CHO), iar vitamina A sau retinolul conține o funcțiune alcool primar (—CH_2OH). Transformarea unui compus în celălalt se produce printr-un proces oxido-reducător care impune acțiunea catalitică a unui sistem enzimatic numit retinal-reductază (sau retinal-dehidrogenaza).

De fapt ciclul chimic este ceva mai complex. Rodopsina sub acțiunea radiațiilor luminoase avînd lungimi de undă cuprinse între 0,385—0,6 (adică lumina vizibilă) se transformă într-un compus intermediar instabil, lumirodopsina, de culoare roșu-gălbuie. La întuneric lumirodopsina trece în metarodopsină de culoare galbenă, care în prezența urmelor de apă se descompune în trans-retinal și opsină. În fine, sub acțiunea retinal-dehidrogenazei, în prezența codehidrazei I (difosfopiridindinucleotida — DNP) care este de fapt agentul reducător, adică transportorul de hidrogen, se reduce gruparea aldehidică din retinal la gruparea alcool din retinol.

Regenerarea rodopsinei se face la întuneric, fără consum de energie. Această reacție poate avea loc pe două căi, fie prin transformarea trans-retinalului netransformat în vitamină A în cis-retinal sau neoretinal *b* și care se poate combina cu opsina, fie prin transformarea mai întîi a trans-vitaminei A în cis-vitamină A care se transformă apoi în neoretinal *b* printr-un proces de oxidare în prezența aceluiași sistem enzimatic (adică se produce reacția inversă celei de reducere).

Întregul proces, care în realitate este și mai complex decît a fost descris aici, deoarece în ultimii ani s-au mai descoperit și alți intermediari, este prezentat în schema de mai jos.



Viteza de descompunere a rodopsinei sub acţiunea luminii este de aproximativ 0,05—0,1 secunde, însă viteza de regenerare este mult mai lungă, de aproape 2 000 de ori mai lentă, adică circa 40—45 minute. În cadrul acestui proces de descompunere al rodopsinei (la care se pare după unele cercetări mai recente că ar participa şi un alt compus — acidul lipoic) se produce o liberare de energie (reacţie exergonică) care provoacă un biocurent care se propagă prin căile nervoase spre centru vizual, transformînd stimulul luminos în senzaţie luminoasă.

În tot acest proces de transformări chimice se produce un consum de vitamină A. Cantitatea necesară de vitamina A pentru regenerarea rodopsinei este preluată din celulele epiteliului pigmentar. Lipsa aprovizionării cu vitamină A, fie datorită unor boli care împiedică acumularea de vitamină A (hepatită) fie a unor boli ale ţesutului respectiv (coroidită), duce la o reducere a sensibilităţii la lumină (hemeralopie).

Procesul fotochimic care se produce în conuri este în esenţă identic cu acela din bastonaşe, cu diferenţa că viteza de descompunere a substanţei fotochimice — iodopsina — este de 25 ori mai lentă ca în bastonaşe, dar în schimb regenerarea este mult mai rapidă, adică cam de două ori faţă de viteza de descompunere. Şi aici vitamina A joacă un rol esenţial, dar necesarul este

preluat din circulaţia sanguină. Aşadar, dacă se produce eventual deslipirea retinei de stratul pigmentar de care este legată se pierde doar sensibilitatea bastonaşelor (adică sensibilitatea la variaţiile de luminozitate) căci nu se mai asigură aportul de vitamină A necesară, dar se menţine sensibilitatea conurilor (adică mai pot fi percepute formele).

Fizica vederii sau formarea imaginii pe retină

Deşi nu avem intenţia de a descrie pe larg anatomia ochiului, totuşi trebuie să reamintim pe scurt că ochiul vertebratelor şi al omului este constituit dintr-o serie de părţi componente, jucînd fiecare un rol important în procesul vederii. Astfel, principalele părţi constituente ale ochiului sînt:

— **sclera** — membrană rezistentă şi impermeabilă care înfăşoară ochiul, cu rol de protecţie a întregului organ, şi care în partea din faţă se continuă cu **corneea** — o membrană transparentă;

— **coroida** — o membrană subţire, pigmentată, neagră şi vascularizată şi care are rol nutritiv şi de termostatare. Pigmentul negru al coroidei are rolul de a împiedica producerea de reflexii în interiorul ochiului, transformîndu-l într-o cameră neagră. La unele animale nocturne interiorul ochiului este deseori reflectiv, ceea ce explică de ce ochii bufniţei strălucesc noaptea;

— **irisul** — un diafragm vertical plasat în spatele corneei, care reprezintă o prelungire a coroidei, conţine pigmentul care dă culoarea ochilor şi două tipuri de fibre musculare dintre care unele circulare delimitează orificiul care apare negru — **pupila**;

— **cristalinul** — lentila mobilă şi reglabilă a ochiului, de forma unui bob de linte, transparentă, plasată

în spatele irisului, suspendată de coroidă prin trei perechi de muşchi care permit acomodarea (adică modificarea formei cristalinului);

— corpul vitros — care se află în interiorul ochiului şi prin care radiaţiile trec fără să sufere nici o modificare a parcursului;

— retina — membrana sensibilă, ataşată de coroidă. Corneea, irisul şi cristalinul pot fi considerate ca instrumente optice, avînd rolul de a focaliza radiaţia luminoasă pe retină, sediul propriu-zis al fabricării imaginii.

Principala funcţie a corneei este de a refracta radiaţia incidentă pentru a forma imaginea pe retină. Acest rol era atribuit pînă nu demult exclusiv cristalinului, dar s-a demonstrat că doar la peşti cristalinul îndeplineşte şi rolul de refracţie a radiaţiei incidente, pe cînd la vertebrate cristalinul are doar rolul de a focaliza radiaţiile luminoase refractate de cornee, reducînd astfel distanţa faţă de obiect. Pentru a vedea aproape, cristalinul, de fapt o lentilă deformabilă, capătă o formă mai convexă şi invers. Cristalinul este transparent la lumina vizibilă, dar absoarbe puternic lumina ultravioletă, ceea ce explică de ce nu putem „vedea" radiaţiile ultraviolete*. Cu timpul, odată cu îmbătrînirea, absorbţia se extinde şi în domeniul albastru, astfel că cristalinul „îngălbeneşte" cu vîrsta, iar omul devine mai puţin sensibil la lumina albastră.**

Lumina, după ce a fost refractată de cornee, trece prin pupilă, orificiul din iris. Este foarte răspîndită părerea că pupila îşi modifică mărimea pentru a compensa schimbarea intensităţii luminoase. Acest lucru este

* Dacă se scoate cristalinul (în operaţiile de cataractă) ochiul percepe şi radiaţiile ultraviolete.

** Oare aceasta ar fi explicaţia că în creaţia unor pictori există perioade albastre la tinereţe, iar spre bătrîneţe trec la perioade roşii? De pildă Picasso!

doar în parte adevărat și nu reprezintă mecanismul principal al adaptării; pupila își poate modifica suprafața doar de 16 ori, pe cînd intervalul de adaptabilitate a ochiului la intensitatea luminoasă este de 10.000 ori. Pupila își modifică dimensiunile pentru a dirija radiațiile luminoase în zona centrală a cristalinului care

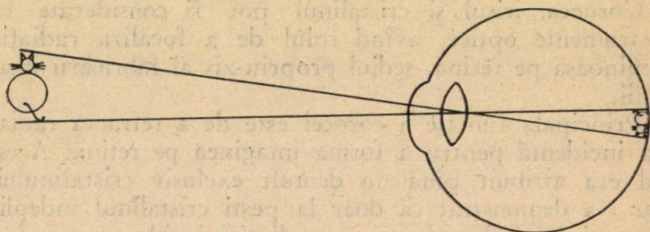


Fig. 3.

are proprietățile optice optime. Cînd luminozitatea este mică, pupila se deschide, mărind acuitatea. Pupila se închide pentru vederea de aproape pentru a mări adîncimea cîmpului vizual.

Așadar, radiațiile de lumină, după ce au suferit refracțiile în cornee și focalizarea în cristalin, ajung pe retină reproducînd forma sursei luminoase, însă inversată.

Această informație vizuală „mecanică" este transmisă la centrul optic din creier unde este prelucrată, transformată, înregistrată și înmagazinată sub forma imaginii văzute.

Cîmpul vizual al unui singur ochi este doar de 150°. Avantajul vederii binoculare este extinderea acestui cîmp vizual la 200°. Dar cea mai importantă consecință a vederii binoculare la om este posibilitatea de percepere a reliefului, determinată de posibilitatea de acomodare și de convergență. Cu un singur ochi putem să

ne dăm seama de volumele obiectului pe care îl vedem, dar mai multe obiecte ne apar oarecum ca fiind așezate într-un singur plan. Privind însă obiectele din două puncte diferite (distanța dintre cei doi ochi fiind de 60—65 mm) percepem pozițiile relative ale obiectelor pe care le privim, adică relieful.

La mulți oameni (care au ochiul alungit) imaginea nu se formează pe retină, ci mai aproape; acest defect se numește miopie și se caracterizează printr-o bună vedere a obiectelor apropiate și o vedere neclară la distanță.

Defectul invers, determinat de anatomia ochiului scurt, este hipermetropia. Imaginea este focalizată în spatele retinei, iar vederea este mai bună la distanță.

Odată cu vîrsta, apare defectul numit presbitism, datorat reducerii elasticității cristalinului. Acest defect se aseamănă cu hipermetropia, dar este generat de alte cauze.

Un alt defect al vederii omului este astigmatismul — defect de orientare determinat de faptul că raza de curbură a corneei nu este uniformă. Astigmatul vede obiectul deformat, aplatisat sau alungit pe direcția defectului, vertical sau orizontal. Unii afirmă că celebrul pictor Theotokopoulos (El Greco) ar fi suferit de astigmatism și de aceea toate portretele pictate de el au figurile alungite.

Vederea colorată

Una dintre funcțiile cele mai importante ale analizorului vizual este senzația cromatică sau perceperea culorilor. Așa cum s-a spus, acest lucru este realizat de celulele cu conuri. Problema vederii colorate nu a fost însă încă pe deplin lămurită. Este interesant de amintit că încă din 1756, Lomonosov a emis o teorie asupra vede-

rii colorate — teoria tricromatică — evident imaginativă și fără o bază riguros științifică. Totuși, ideea a fost reluată în studiu, iar după cercetările lui Studnitz s-a ajuns la concluzia că în celulele vizuale, respectiv în conuri, ar exista trei substanțe fotochimice diferite, sensibile la una din culorile fundamentale: albastru, verde și roșu. Totodată, transmiterea senzației prin nervul optic s-ar face prin 3 căi specifice excitației colorate corespunzătoare.

Sensibilitatea cromatică maximă a omului este la lungimea de undă de 0,55 μ, adică în domeniul galben-verde. Totuși și ea depinde de intensitatea luminoasă. În general, în lumină intensă ochiul este mai sensibil la roșu, pe cînd în condiții de luminozitate redusă, sensibilitatea maximă se deplasează spre verde. Astfel, pe măsură ce înnoptează, trandafirul roșu este eclipsat de verdele frunzelor (fenomenul Purkinje).

Deși principalul rol în vederea cromatică îl joacă celulele cu conuri, totuși și celulele cu bastonașe participă la vederea colorată, dar numai pentru lungimile de undă corespunzătoare culorilor indigo și violet. La intoxicațiile cu santonină, o substanță extrasă din anumite specii de pelin și folosită la combaterea viermilor intestinali, sînt afectate doar celulele cu bastonașe, iar rezultatul este că nu se mai diferențiază culorile violet și indigo.

Sînt cunoscute o serie de tulburări ale vederii colorate. Omul normal poate percepe și diferenția 140 nuanțe diferite. Lipsa de percepere a culorii poate fi *totală* (acromazie sau acromatopsie), cînd se percep numai grade de luminozitate — alb, negru, cenușiu, sau *parțială* (discromatopsie). În acest ultim caz există două grupe de anomalii:

a) greutatea de recunoaștere a culorilor,

b) incapacitatea de percepere a unor anumite culori.

În prima grupă se recunosc cu destulă dificultate doar cele 3 culori de bază, roșu, verde și albastru (discromatopsie de tip Rayleigh sau Balfour).

Din a doua grupă face parte cunoscuta discromatopsie de tip Dalton sau daltonism (după numele chimistului englez John Dalton — 1760—1844 — care suferea de această anomalie). Daltoniștii pot fi lipsiți de sensibilitate fie numai pentru roșu — protanopie, fie pentru verde — deuteranopie, iar foarte rareori pentru violet — titanopie. Dalton însuși vedea doar în galben și indigo.

În general toate aceste anomalii sînt congenitale și ereditare și nu pot fi modificate prin tratamente. Ele sînt mai frecvente la bărbați (4%) și mai rare la femei (0,4%).

III. CULORILE NATURII

Culorile pe care le vedem în jurul nostru, culorile naturii, ale lumii vegetale şi animale, sînt substanţe chimice, unele foarte complicate, altele mai simple, foarte variate, unele avînd un rol biologic determinant, altele avînd un rol încă neprecizat. Curiozitatea oamenilor de ştiinţă în căutările lor continue de descifrare a secretelor naturii a permis să se stabilească în multe cazuri natura şi structura componentelor colorate, a pigmentului respectiv. Vom încerca să descriem pe unii din aceşti pigmenţi mai importanţi, sistematizîndu-i în funcţie de structura şi răspîndirea lor.

Pigmenţii vieţii

În foarte puţine cazuri rolul biologic al substanţelor colorate izolate din natură a fost stabilit cu exactitate, în ciuda eforturilor depuse de biologi şi biochimişti. Dintre toţi pigmenţii naturali izolaţi şi studiaţi din lumea vie, s-a desprins o clasă de compuşi avînd o structură chimică de bază foarte asemănătoare şi care au un rol biologic extrem de important, fără de care viaţa animală şi vegetală nu poate fi concepută. Acest lucru ne-a făcut să-i denumim, deşi poate exagerat, pigmenţii

vieţii. Această clasă de substanţe naturale colorate are ca principali reprezentanţi **clorofila** — pigmentul verde al lumii vegetale — şi **hemoglobina** — pigmentul roşu al sîngelui animalelor, ambele substanţe avînd o structură chimică destul de asemănătoare. Compusul chimic de bază are o structură macrociclică, care a primit numele de porfirină.

Majoritatea pigmenţilor porfirinici joacă un rol fundamental în procesele metabolice, atît ale organismelor animale, cît şi vegetale. Porfirinele derivă de la un compus părinte numit porfină, de culoare roşie, şi se găsesc în ţesuturile vii sub formă de complecşi cu metale, legate de un suport proteinic, constituind astfel o heteroproteidă din grupa cromoproteidelor. În marea majoritate a cazurilor, porfirinele naturale conţin ca metal magneziu sau fier, dar s-au găsit în natură şi porfirine avînd ca element metalic cupru, zinc, vanadiu sau cobalt.

Lumea verde, lumea vegetală care ne înconjoară, feeria de gradaţii şi nuanţe verzi din toi de vară, toate acestea se datorează prezenţei unui pigment specific al firelor de iarbă şi frunzelor, cu un rol esenţial în viaţa plantelor. Acest pigment a fost izolat şi studiat pentru prima dată de Senebier în 1782. Denumirea de clorofilă, de la *khlôros* — verde şi *phyllon* — frunză, a fost dată de Pelletier şi Caventou în 1818. Stokes a constatat în 1854 că pigmentul care se izolează din frunze, numit pînă atunci clorofilă, este constituit de fapt din 4 substanţe diferite, dintre care două erau clorofile, de culoare verde, iar celelalte două erau colorate în roşu, portocaliu sau galben. Structura exactă a pigmentului şi proprietăţile sale chimice au fost stabilite de Willstaetter, care a primit premiul Nobel în 1915 pentru lucrările sale în acest domeniu. Sinteza totală a clorofilei în laborator a fost realizată de Woodward în 1960.

Clorofila este așadar materia colorantă verde, prezentă în cloroplastele celulelor vegetale și care participă în procesul de fotosinteză al plantei, ca sensibilizator fotochimic. Clorofila, o porfirină cu magneziu, este gruparea prostetică a cromoproteidei cloroglobină sau cloroplastină, proteina numindu-se plastină. Frunzele proaspete conțin 0,1—0,3% clorofilă, iar cele uscate 0,3—1,2% și în puține cazuri pot ajunge pînă la 4%, de exemplu într-o specie de iarbă care crește în nordul Africii și în Spania, numită alfa. Clorofila se separă foarte ușor de proteina de care este legată mai ales după uscarea frunzelor. Din frunze, clorofila se izolează prin macerare cu alcool etilic sau cu eter etilic. Clorofila astfel izolată este de fapt constituită din două substanțe foarte apropiate ca structură și notate clorofilă *a* și clorofilă *b* și care se găsesc în general în raport de 3:1. Cele două clorofile, *a* și *b*, au fost izolate pentru prima dată de Țvet în 1906, cu ajutorul metodei cromatografice descoperită de el.

S-a observat că raportul de 3:1 între cele două substanțe depinde de luminozitatea la care este expusă planta. O plantă ținută la soare își mărește conținutul de clorofilă *a*, pe cînd la umbră, crește cantitatea de clorofilă *b*. În algele brune, clorofila *b* se găsește în cantități foarte mici, iar în algele roșii, lipsește complet.

În afară de aceste două clorofile cu răspîndire universală, s-au mai descoperit în diverse specii de plante anumite substanțe foarte asemănătoare clorofilei, avînd același rol fiziologic dar care se diferențiază prin diverse grupe funcționale legate de ciclul de bază porfinic. Din algele brune s-a izolat o clorofilă *c*, iar din unele alge roșii s-a extras clorofila *d*.

Pigmenți cu structura clorofilei s-au identificat și în unele microorganisme. Bacteriile brune și purpurii conțin un pigment înrudit cu clorofila *a* și numit bac-

terioclorofilă, iar bacteriile verzi (*Chlorobium*) conţin clorobiumclorofilă. Prezenţa compuşilor de tipul clorofilei în microorganisme demonstrează din nou legătura strînsă între lumea animală şi vegetală, cel puţin în primele etape ale dezvoltării biologice, ceea ce este un argument în favoarea ipotezei originii unice a vieţii.

Frunzele verzi mai conţin în afară de clorofilă şi alţi pigmenţi galbeni, portocalii şi roşii din grupa carotinoidelor şi a antocianinelor, dar puterea tinctorială a clorofilei este atît de mare, încît maschează culoarea celorlalţi pigmenţi. Totuşi, toamna, în condiţiile de răcire a climei, clorofila din frunze migrează parţial spre tulpină sau suferă procese de degradare, iar frunzele capătă nuanţele gălbui ale carotinoidelor sau roşul-violet ale antocianinelor şi asistăm la ruginirea lor.

Din aceeaşi clasă cu clorofila, adică din clasa porfirinelor, fac parte şi cunoscuţii pigmenţi respiratori roşii ai sîngelui vertebratelor — hemoglobinele — descoperite de Berzelius. Acestea sînt de fapt cromoproteide constituite dintr-o proteină solubilă în apă — globina, care diferă de la o specie la alta, şi din hem (din grecescul *haima* — sînge). Hemul este de fapt pigmentul roşu şi are structură porfirinică, mai precis este o protoporfirină, care conţine ca metal fier. Hemoglobinele vertebratelor au greutăţi moleculare de 65 000—68 000 şi conţin cîte 4 molecule de hem. Raportul dintre globină şi hem este 95:5. La animalele inferioare, hemoglobina are greutăţi moleculare mai mici, de aproximativ 17 000.

Se cunosc mai multe varietăţi de hemoglobină, printre care hemoglobina A (HB-A), la omul adult, şi hemoglobina F (HB-F), la fetus, care diferă prin structura globinei, toate avînd însă acelaşi hem.

Se ştie că hemoglobina are rolul fiziologic de a transporta oxigenul în organismele animale. Cu oxigenul din aer, hemoglobina formează o combinaţie in-

stabilă, oxihemoglobina, de culoare roşie mai deschisă, ceea ce explică culoarea mai deschisă a sîngelui arterial şi culoarea mai închisă a sîngelui venos care numai conţine oxihemoglobină. Cînd presiunea parţială a oxigenului se reduce, adică în capilarele sanguine, combinaţia dintre oxigen şi hemoglobină se descompune şi se pune oxigenul în libertate.

De fapt, acest pigment, această grupare prostetică, hemul, se regăseşte în diverse alte cromoproteide, în special în regnul animal. Acelaşi hem este conţinut şi într-o serie de enzime, cum este catalaza din ficat, care catalizează descompunerea apei oxigenate, sau peroxidaza, mai frecventă în plante şi în lapte, care favorizează oxidările cu apă oxigenată. De asemenea, citocromii descoperiţi de Keilin în 1925, enzime prezente în toate celulele animale şi vegetale ce pot respira, conţin hemuri asemănătoare, iar citrocromul *b* conţine un hem identic cu acela din hemoglobină. Rădăcinile unor plante leguminoase conţin unele nodozităţi care au pigmenţi roşii şi care conţin o cromoproteidă numită leghemoglobină şi în care gruparea prostetică este identică cu aceea din hemoglobină.

Şi în muşchi există o cromoproteidă numită mioglobină, asemănătoare hemoglobinei, avînd însă o greutate moleculară mai mică (aproximativ 17 200) şi o singură moleculă de hem. Rolul mioglobinei este acela de a constitui o rezervă de oxigen disponibilă pentru oxidări celulare şi ea se găseşte în special în muşchii care efectuează mişcări ritmice, cum sînt muşchii inimii sau muşchii pectorali ai păsărilor care acţionează aripile în timpul zborului.

Pigmentul roşu din sîngele tuturor vertebratelor are aceeaşi structură. Există însă o serie de viermi (anelide), cum este *spirografis*, care trăieşte în Marea Mediterană, care are în sînge un pigment respirator verde — clorocruorină — care conţine un hem cu o structură

puţin modificată faţă de cel din hemoglobină (hem de *spirografis*).

Prin degradarea biologică a pigmentului sanguin, degradare care are loc în ficat, se formează pigmenţii biliari de culoare brună verzuie. Degradarea se face cu pierderea fierului din moleculă şi descompunerea sistemului macrociclic cu formarea unui sistem tetrapirolic liniar. Sistemul de bază de la care derivă aceşti pigmenţi biliari s-a numit bilan. Principalii pigmenţi din bilă sînt bilirubina de culoare galben-brună, biliverdina, verzuie (identică cu oocianul — pigmentul care dă nuanţa albastră-verzuie a cojii ouălelor de raţă) şi urobilina, galbenă.

În algele roşii şi albastre s-au identificat o serie de compuşi analogi pigmenţilor biliari şi anume ficoeritrobilina şi ficocianobilina, colorate în roşu şi, respectiv, albastru şi care dau culoarea acestor alge.

Un compus cu structură asemănătoare pigmenţilor porfirinici, cu un rol biologic foarte important, este vitamina B_{12}, izolată pentru prima dată din extract de ficat de Folkers (1948), dar care se obţine mai uşor din culturi de *Streptomyces*. Vitamina B_{12} se prezintă sub formă de cristale roşii, solubile în apă şi are ca şi porfirinele o structură macrociclică numită corină şi conţine ca metal cobalt.

Pigmenţii frunzelor de toamnă

S-a spus mai înainte că toate plantele verzi conţin pe lîngă clorofilă şi o serie de alţi pigmenţi galbeni, portocalii sau roşii, care dau culoarea frunzelor de toamnă. Aceşti pigmenţi, cu răspîndire universală în tot regnul vegetal, poartă numele general de carotinoide, denumirea propusă de Ţvet în 1911. Carotinoidele sînt pigmenţii galbeni, portocalii şi roşii din plante,

flori, polen, fructe, alge, ciuperci, bacterii. Pînă în prezent au fost izolate vreo 80 de carotinoide dintre care la numai 50 s-a determinat structura exactă.

Principala dificultate în studiul acestor compuşi este faptul că se găsesc aproape în toate cazurile în amestec, ceea ce explică şi marea varietate de nuanţe de la roşu la galben întîlnită în lumea vegetală. Totodată, procentul de carotinoide în diversele ţesuturi vegetale este foarte mic. Proporţia cea mai mare se găseşte în morcov unde ajunge la 0,1% faţă de materialul uscat.

Ca structură chimică, carotinoidele sînt compuşi organici ce conţin în majoritatea cazurilor 40 atomi de carbon. Dintre cele 50 de carotinoide a căror structură a fost precis stabilită, 45 conţin cîte 40 atomi de carbon în moleculă şi numai restul de 5 au un număr ceva mai mic de atomi de carbon. Culoarea acestor substanţe este dată de faptul că au o structură nesaturată de duble legături conjugate. Dacă substanţele se hidrogenează şi dispare sistemul nesaturat conjugat, dispare şi culoarea, iar compusul devine incolor.

Carotinoidele se împart în hidrocarburi carotinoidice cu formula generală $C_{40}H_{56}$ şi derivaţi oxigenaţi dintre care cei mai importanţi sînt alcoolii carotinoidici, denumiţi şi xantofile (Berzelius) şi care se găsesc de obicei sub formă de esteri cu acizi graşi superiori.

Cel mai răspîndit reprezentant al acestor pigmenţi este β-carotina — pigmentul din morcov, denumită astfel după numele latinesc al morcovului — carota — şi care a dat numele întregii familii de compuşi. β-Carotina a fost izolată pentru prima dată de Wackenroden din morcov în 1831 şi de Berzelius din frunzele îngălbenite de toamnă în 1837. Structura sa a fost stabilită doar în 1928 de Zechmeister, iar sinteza ei în laborator a fost realizată de Karrer în 1949. β-Carotina însoţeşte clorofila în toate plantele verzi, alături

de α-carotină şi luteină. Pînă în prezent au fost izolate şi studiate 5 carotine cu aceeaşi formulă brută, denumite cu literele greceşti α, β, γ, δ şi ε-carotine, dintre care cea mai răspîndită este β-carotina. În frunze raportul între α, β şi γ-carotine este 14,9:85:0,1.

Dintre xantofile, cea mai răspîndită este luteina, de culoare galbenă, care însoţeşte întotdeauna β-carotina în plantele verzi şi care este substanţa care dă culoarea galbenă a gălbenuşului de ou şi a penelor canarului. Luteina se extrage de obicei însă din urzici uscate în care se găseşte în concentraţie relativ mai mare.

În tabelul care urmează sînt indicate cele mai răspîndite carotinoide, culoarea substanţei în stare pură şi răspîndirea lor naturală.

Compus	Culoare	Planta
Apocarotinal	violet închis	citrice, iarbă, măceş, spanac
Astaxantină	verde închis	sub forma cromoproteidei ovoverdină în ouăle şi tegumentele crustaceelor (homari). Prin fierbere ovoverdina se descompune şi culoarea racilor trece de la verde-brun închis la roşu
Auroxantină	galben-auriu	caprifoi
Bis-dehidrolicopină	violet	portocale roşii de Valencia
Bixină (Orlean)	roşu-portocaliu	Colorantul unei plante tropicale *Bixa orellana;* se folosea la vopsitul ţesăturilor
Capsantină	roşu carmin	ardei roşu, liliac
Capsorubină	roşu-violet	ardei roşu
α-Carotină	violet	însoţeşte β-carotina; în uleiul de palmier ajunge pînă la 40%

β-Carotină	roşu închis	morcovi şi toate plantele verzi (ardei, lucernă, urzici, ace de pin, spanac, frunze)
γ-Carotină	roşu cu luciu albăstrui	0,1% faţă de β-carotină în morcov
δ-Carotină	roşu	pătlăgele roşii, gălbinele, filimică etc.
ε-Carotină	galben-auriu	morcov, fructe, ciuperci, caprifoi, gălbinele, varză
Citroxantină (Mutacrom)	galben-portocaliu	coaja de portocale
Criptoxantină	portocaliu-roşu	coaja de mandarină, ardei roşii, porumb, portocale, floarea soarelui, gălbenuş de ou, unt
Crocetină	galben-roşu	în şofran sub formă de ester cu gentiobioza (crocina)
Fizoxantină	arămiu	porumb galben
Flavocrom	galben	gălbinele
Flavoxantină (Crizantemaxantină)	galben-auriu	gura leului, crizantemă
Fucoxantină	brun-roşu	alge brune, albastre, verzi, roşii
Licopină	roşu închis	pătlăgele roşii, pepene roşu, piersici, crăiţe, vîsioage şi în alte 70 specii de plante, ficat, unt
Licoxantină	roşu-violet	pătlăgele roşii, ciuperci
Luteină (Xantofilă)	galben	însoţeşte β-carotina în plantele verzi, pigmentul galben al florilor, gălbenuşului de ou, în penajul canarului
Rodoxantină	albastru-negru	broscariţă, tuia, conifere (65 mg/10 kg în tisă), penajul unor păsări

Rubicrom	violet	crăițe
Rubixantină	roșu-arămiu	trandafiri roșii
Violaxantină	galben-brun	mandarine, portocale, bostan, viorele, toporași
β-Zeacarotină	galben-portocaliu	porumb galben
Zeoxantină	galben	porumb, fructe, gălbenuș de ou

Spre deosebire de pigmenții porfirinici la care s-a studiat și s-a precizat rolul lor fiziologic în viața plantelor și animalelor, pînă în prezent nu s-a putut descifra care este rolul pe care îl joacă carotinoidele în viața plantelor. Unele dintre ele pot fixa ușor oxigenul din aer și deci participă probabil în reacții de oxido-reducere, dar la cele mai multe carotinoide nu s-a putut descoperi o altă funcție biologică decît cea... „estetică".

În tabel s-a menționat că unele carotinoide au fost identificate și în regnul animal, cum este luteina în penajul galben auriu al canarilor sau în gălbenușul de ou, împreună cu zeoxantina, sau astaxantina din carcasa moluștelor. S-a stabilit însă cu certitudine că animalele nu sînt capabile de a sintetiza carotinoide și că deci ele și le procură numai prin hrană din regnul vegetal. Acest lucru este foarte curios și totodată extrem de important deoarece carotinoidele joacă un rol esențial în viața animalelor și anume în procesul vederii, carotinoidele fiind provitamine A, adică precursori din care se formează vitamina A, atît de necesară în procesul chimic al vederii. Într-adevăr, α-carotina, β-carotina, γ-carotina, criptoxantina și alte cîteva carotinoide care conțin în moleculă un ciclu β-iononic se transformă sub acțiunea enzimei carotinaza din mucoasa intestinală în vitamină A care se acumulează apoi în ficat. Vitamina A sau retinol (sau axeroftol) a fost izolată prima dată sub

formă uleioasă din ficatul de pește de Karrer în 1931, iar sub formă cristalină de Baxter și Robeson în 1941. Sinteza ei în laborator a fost efectuată concomitent pe mai multe căi de Heilbron (1946), Arens și van Dorp (1946), Karrer (1946) și Isler (1947). Dintr-o moleculă de β-carotină se obțin două molecule de vitamină A, pe cînd din α-carotină rezultă o singură moleculă de vitamină A și o altă moleculă cu structură analoagă însă cu ciclu α-iononic, dar fiziologic inactivă. Rolul fiziologic esențial al vitaminei A a fost descris în capitolul precedent referitor la chimia vederii.

Pigmenții florilor

Majoritatea substanțelor colorate care conferă minunata gamă de culori a florilor face parte dintr-o clasă de compuși chimici derivați de la o substanță de bază numită piran și deci pigmenții florilor sînt pigmenți piranici. De fapt, substanța colorată, care se găsește dizolvată în sucul celular, este răspîndită în aproape toate părțile componente ale plantei, dar se află în concentrație maximă în petale și de aceea există colorații atît de variate ale diverselor specii de flori.

Pentru a-i diferenția mai ușor, pigmenții piranici sînt împărțiți în mai multe clase dintre care cele mai importante sînt: flavonele, antocianidinele și xantenele. Gama de culori a acestor compuși este foarte largă, de la roșu și galben la albastru și violet. În mod obișnuit acești pigmenți se găsesc în flori sub formă de glicozizi, adică sub forma unor combinații cu un zahar. Glicozizii sînt combinații ale unor zaharide cu o altă substanță care poartă numele general de aglicon. În cazul pigmenților piranici, agliconul este o substanță colorată din clasa 2-fenilbenzopiranului (2-fenil-α-cromenă), a flavonei (2-fenil-α-cromonă) sau a dibenzo-

-γ-pironei (sau xantonă). Cele mai frecvent întîlnite zaharide sînt glucoza, ramnoza și arabinoza.

Flavonele sînt pigmenții galbeni și portocalii ai florilor. Ele sînt răspîndite însă nu numai în flori ci și în fructe, frunze, scoarța și lemnul unor plante. Flavonele se găsesc în plante sub formă de glicozizi, dar în unele cazuri s-au izolat chiar și flavone în stare liberă. De asemenea, flavonele sînt pigmenții care colorează atît de viu și variat aripioarele fluturilor.

Flavona ca atare este incoloră. Culoarea este dată de existența în molecula flavonei a unor grupe hidroxilice. Intensitatea culorii este determinată de numărul și poziția acestor grupe (grupe auxocrome) în molecula flavonei. Flavonele naturale se împart la rîndul lor în două grupe: derivați ai flavonei fără grupare hidroxilică în poziția 3 a moleculei și derivați ai 3-flavonolului. Unele dintre flavonele naturale conținînd grupele hidroxilice plasate în poziții convenabile (poziții orto sau peri) sînt capabile de a forma complecși chelatici cu anumite metale. Acești complecși colorați, unii avînd și proprietăți fluorescente, sînt foarte stabili și insolubili în apă. Această proprietate a fost descoperită (!?!) încă din antichitate și de aceea unele flavone erau utilizate drept coloranți cu mordant pentru vopsitul țesăturilor. Printre cele mai răspîndite erau luteolina, fisetina, morina, quercetina etc.

Pînă în prezent au fost izolate și studiate aproximativ 100 de flavone, dintre care cele mai răspîndite sînt indicate în tabel.

Compus	Culoare	Planta
FLAVONE		
Apigenină	gălbui	rezeda sălbatică, rechie, mușețel, gura leului

Baicaleină	galben deschis	gura lupului
Crisină	galben	muguri de plop
5-Hidroxiflavonă	galben	ciuboțica cucului
5-Hidroxi-7,4'-dimetoxiflavonă	galben	muguri de mesteacăn
Luteolină	galben	rezeda sălbatecă
Nobiletină	galben	coaja de lămîie
Primetină	galben-ocru	ciuboțica cucului
Tectogenină (Tectocrisină)	galben	pin
Tricină	galben deschis	frunze de grîu
Vogonină	galben	gura lupului
FLAVONOLI		
Amerbelină	galben	cucută, torțel
Artemisetină	galben	pelin
Aurantină	galben	portocale, lămîi
Calicopterină	galben	degetărel
Camferol	galben deschis	nemțișori de cîmp, ceai
Fisetină	galben	scumpie
Izoramnetină	galben	micșunea
Limocitrină	galben	lămîi
Morină	galben deschis	în lemnul galben (**Morus tinctoria**), dud
Quercetină	galben	coaja de ceapă, scoarța de prun, pansea, trandafiri, ceai, stejar, coji de mere, hamei
Ramnetină	galben	crușîn
Robinetină	galben	lemnul de salcîm
Rutină	galben	hrișcă, virnanț
Tangeretină	galben	coaja de mandarine

Rolul flavonelor în florile și frunzele plantelor superioare este de a absorbi radiațiile ultraviolete și deci de a proteja plasma celulară și clorofila de acțiunea acestor radiații din lumina solară, radiații care ar putea distruge elementele esențiale constitutive ale celulei. S-a observat astfel că plantele tropicale și cele alpine au un conținut mărit de flavone, acest lucru fiind legat de concentrația mai mare de radiații ultraviolete

în aceste regiuni. După alţi cercetători, flavonele ar juca un rol important în sistemul de respiraţie al plantei. Pe de altă parte, se pare că flavonele care au fost identificate şi izolate din lemn şi scoarţă ar mări rezistenţa acestora la atacul insectelor şi al unor anumite microorganisme.

O serie de flavone a fost identificată şi izolată din ceai, printre care camferolul, quercetina, miricetina, şi care contribuie la aroma şi gustul diferit al diverselor tipuri şi sorturi de ceaiuri.

Antocianidinele sînt pigmenţii piranici care dau toate nuanţele de roşu, albastru şi violet din flori şi fructe. Ei se găsesc sub formă de glicozizi numiţi antociani, antocianidina fiind agliconul, pigmentul propriu-zis, legat de zaharidă.

Antocianii sînt de obicei dizolvaţi în lichidul celular al plantei, dar de multe ori se găsesc chiar în stare cristalină sau amorfă în plantă. Antocianidinele formează săruri stabile cu acizii (săruri de piriliu) intens colorate în roşu. Dacă se neutralizează sarea (forma chinoidică), culoarea trece în purpuriu, iar în mediu bazic (sarea formei chinoidice) culoarea devine albastră. Această proprietate explică de ce acelaşi compus poate produce în plantă coloraţii diferite. De exemplu, trandafirul roşu şi albăstriţa din grîu conţin acelaşi antocian, cianina (diglucozid al cianidinei). În primul caz, cianidina găsindu-se ca sare de piriliu (mediu acid) este colorată în roşu, iar în al doilea caz, fiind sub formă de sare de potasiu a formei chinoidice este colorată în albastru.

S-a mai observat o variaţie a culorii şi în funcţie de temperatură. Florile de nu-mă-uita sînt roşii la temperaturi joase şi devin albastru strălucitor la temperaturi mai ridicate. La fel, ciocul berzei şi liliacul devin incolore la cald şi capătă o coloraţie albastru violet la temperaturi mai joase.

În unele cazuri prezența acidului galic sau a taninului sau chiar a ionilor de fier are rol de copigment. De exemplu, cercelușul are o nuanță violetă mai închisă în centrul florii care se datorează prezenței și acumulării de tanin în această zonă din floare.

Ca și flavonele, antocianidinele conțin în moleculă grupe hidroxilice. În funcție de numărul de grupe hidroxil, antocianidinele pot fi clasificate în trei tipuri fundamentale ai căror principali reprezentanți sînt pelargonidina (o grupă hidroxil), cianidina (2 grupe OH) și delfinidina (3 grupe OH). Pentru a forma antociani, antocianidinele sînt legate prin intermediul grupării hidroxilice din poziția 3 de o moleculă de monozaharidă. Dintre zaharuri cel mai des se întîlnesc glucoza, galactoza și ramnoza. Unii antociani conțin și o a doua moleculă de monozaharidă, iar alții pot fi legați printr-o dizaharidă de antocianidina respectivă. În tabel sînt menționate cîteva din cele mai răspîndite antocianidine.

Antocianidina	Antocian	Culoare	Planta
Pelargonidină	Calistepină	roșu cu luciu de bronz	steluță
	Fragarină	roșu închis	fragi
	Pelargonină	roșu	mușcată, gherghină
	Salvianină	roșu	jaleș, salvie
Cianidină	Antirrhinină	roșu	gura leului, coacăz negru, agrișe, prune
	Cianină	roșu cu luciu metalic	trandafiri, albăstrele
	Crizantenină	roșu-brun	tufănele, dumitrițe, crizanteme, gherghine

În unele cazuri prezența acidului galic sau a taninului sau chiar a ionilor de fier are rol de copigment. De exemplu, cercelușul are o nuanță violetă mai închisă în centrul florii care se datorează prezenței și acumulării de tanin în această zonă din floare.

Ca și flavonele, antocianidinele conțin în moleculă grupe hidroxilice. În funcție de numărul de grupe hidroxil, antocianidinele pot fi clasificate în trei tipuri fundamentale ai căror principali reprezentanți sînt pelargonidina (o grupă hidroxil), cianidina (2 grupe OH) și delfinidina (3 grupe OH). Pentru a forma antociani, antocianidinele sînt legate prin intermediul grupării hidroxilice din poziția 3 de o moleculă de monozaharidă. Dintre zaharuri cel mai des se întîlnesc glucoza, galactoza și ramnoza. Unii antociani conțin și o a doua moleculă de monozaharidă, iar alții pot fi legați printr-o dizaharidă de antocianidina respectivă. În tabel sînt menționate cîteva din cele mai răspîndite antocianidine.

Antocianidina	Antocian	Culoare	Planta
Pelargonidină	Calistepină	roșu cu luciu de bronz	steluță
	Fragarină	roșu închis	fragi
	Pelargonină	roșu	mușcată, gherghină
	Salvianină	roșu	jaleș, salvie
Cianidină	Antirrhinină	roșu	gura leului, coacăz negru, agrișe, prune
	Cianină	roșu cu luciu metalic	trandafiri, albăstrele
	Crizantenină	roșu-brun	tufănele, dumitrițe, crizanteme, gherghine

	Idaină	roșu-brun	coaja merelor roşii
	Keracianină	roşu	cireşe negre
	Mecocianină	roşu închis	mac, prune
	Oleocianină	roșu-brun	măsline coapte
	Rubrobrosină	roşu-brun	varză roșie
	Sambucină	roşu-brun	soc
Delfinidină	Avobaină	roşu	comelină
	Delfină	bronz	salvie
	Delfinină	roşu-închis	nemţişori de cîmp
	Nasunină	violet	vinete
	Empetrină	roşu-brun	vuietoare
	Hibiscină	brun	zămoșiță
	Gentianină	roşu-brun	gențiană
	Mirtilină	roșu-violet	trei-frați-pătați, afin
	Violanină	roșu-brun	viorele (33%)
Peonidină	Peonină	brun-roșcat	bujor, alge brune (0,3 % față de alga uscată)
Hirsutidină	Hirsutină	roșu	ciuboțica cucului
Malvidină	Ensatină	roșu	stînjenel
	Negreteină	roșu-violet	cartofi violeţi
	Primulină	bronz	ciuboţica cucului
Siringidină	Malvină	roșu-brun	nalbă
	Oenina	roșu cu luciu verzui	struguri roșii, vin roșu, ciclamă
	Siringină	roșu	stînjenel, viorele, toporași

Tot din grupa pigmenţilor piranici fac parte şi unii compuşi derivaţi de la xantonă (dibenzo-γ-pironă), în general destul de puţin răspîndiţi. Aceştia sînt pigmenţi galbeni care se găsesc în frunze, rădăcini, lemn şi scoarţă. Unele ciuperci inferioare îşi datorează culoarea galbenă prezenţei acestor pigmenţi. Din acest tip de pigmenţi, euxantona (4,7-dihidroxantona) se găseşte cuplată cu acid glucuronic în frunzele de mango şi se foloseşte ca pigment în pictură sub numele de piuri sau galben indian. Structura ei a fost stabilită de Stenhouse în 1844. Un derivat de euxantonă este gentisina, pigmentul galben din genţiană.

Alţi pigmenţi vegetali şi animali

Există o serie de compuşi, destul de mult răspîndiţi în natură, de obicei coloraţi în galben, portocaliu sau roşu şi care au o structură chimică comună — structura chinonică. Interesul deosebit al acestor compuşi se datorează faptului că reprezintă unii dintre cei mai vechi coloranţi naturali folosiţi încă din cele mai vechi timpuri pentru vopsitul ţesăturilor şi pentru prepararea cosmeticelor. Este suficient să amintim aici de alizarină, unul dintre cei mai vechi coloranţi naturali cu aplicaţii practice şi care a constituit un moment crucial în dezvoltarea modernă a coloranţilor sintetici.

Chinonele, denumirea generală a clasei de compuşi, se găsesc în stare naturală sub formă de glicozizi, răspîndite în ţesutul vegetal şi animal şi în mediile de cultură a unor microorganisme. Din punct de vedere al structurii chimice, chinonele sînt de 2 tipuri: *orto*-chinone şi *para*-chinone, diferenţa structurală reflectîndu-se şi în culoarea compuşilor, şi anume, *orto*-chinonele sînt colorate în roşu, pe cînd *para*-chinonele au nuanţe galbene. Majoritatea chinonelor naturale mai conţin şi grupe hidroxil, ceea ce permite ca ele să ma-

nifeste capacitatea de a forma chelaţi cu unele metale şi deci de a fi folosite drept coloranţi cu mordant.

Chinonele mai pot fi împărţite şi în funcţie de numărul de cicluri din moleculе. Cele mai simple — benzochinonele — au fost izolate numai din ciuperci, toate fiind derivaţi de la *para*-benzochinonă şi avînd deci diverse nuanţe de galben.

Naftochinonele, care conţin un sistem de două cicluri condensate, derivînd de la naftalină, se găsesc cu precădere în plantele superioare. Printre cele mai interesante naftochinone, juglona, extrasă din nucile verzi, era utilizată drept colorant; lawsona (sau henna) — pigmentul galben extras dintr-un arbust ornamental indian, care era folosită în Egipt la vopsitul părului blond; echinocromul, o substanţă roşie secretată de ariciul de mare cu rol de atractant sexual (exohormon) care este activ chiar la o parte la un miliard în apa de mare.

Antrachinonele, care conţin un sistem de 3 cicluri în moleculă, derivînd de la antracen, sînt cele mai răspîndite, găsindu-se atît în plantele superioare, cît şi în ciuperci, licheni sau chiar şi în unele insecte. Antrachinona însăşi este o substanţă cristalină de culoare slab gălbuie. Mult mai interesanţi şi mai importanţi sînt derivaţii cu grupe hidroxilice ai antrachinonei. Aceste hidroxiantrachinone sînt mai intens colorate şi, aşa cum s-a văzut şi la alţi compuşi care conţin grupe hidroxilice, sînt capabile de a forma chelaţi cu unele metale şi deci de a fi utilizate drept coloranţi. Capacitatea unor hidroxiantrachinone de a vopsi materialele textile era cunoscută încă din antichitate. Să amintim pe cel mai important compus din această clasă, alizarina — 1,2-dihidroxiantrachinona — unul din cei mai vechi şi mai răspîndiţi coloranţi roşii, care se găseşte în rădăcinile de roibă sau garanţă, a cărui utilizare pentru vopsitul lînii şi bumbacului se practica din timpuri

imemorabile. Alizarina este dealtfel şi primul colorant natural industrializat. Tot din clasa hidroxiantrachinonelor fac parte şi acidul carminic (coşenila) şi acidul kermesic (kermesul), coloranţi naturali roşii foarte preţuiţi în trecut înainte de dezvoltarea industriei de coloranţi sintetici. Important este faptul că în prezent mulţi dintre coloranţii sintetici au o structură hidroxiantrachinonică. Pînă în prezent s-au izolat vreo 50 de compuşi hidroxiantrachinonici, răspîndiţi mai ales în rădăcinile plantelor superioare, cît şi în licheni şi în unele insecte.

Muştele negre (*Aphis fabae*) conţin un pigment galben (protoafin). Acesta, după moartea insectei, este transformat enzimatic în xantoafin tot galben, apoi în crysoafin — portocaliu — şi final în eritroafin — roşu. Compuşii respectivi, care au fost izolaţi, studiaţi şi identificaţi, au o structură chinoidică complexă.

În hrişcă şi în sunătoare se găseşte un pigment roşu cu structură chinonică, hipericina, care provoacă la animalele care s-au hrănit cu aceste plante o sensibilizare acută la lumină, iritaţia pielii, edeme dermice, creşterea iniţială a temperaturii urmată de o scădere puternică a temperaturii corpului, ajungînd în cazuri extreme chiar la moartea animalului.

În tabelul care urmează sînt menţionaţi unii din cei mai des întîlniţi pigmenţi chinonici.

Compus	Culoare	Răspîndire
BENZOCHINONE		
Acid poliporic	brun-violet	burete de stejar
Acid teleforic	negru-violet	ciuperci
Atromentină	brun cu luciu metalic	ciuperci care cresc pe trunchiul brazilor
2,6-Dimetoxi-*para*-benzochinonă	galben-auriu	ruşcuţa de primăvară, spînţ

Fumigatină	brun	ciuperci, mucegai (toxică)
Muscarufină	roșu-portocaliu	ciuperci (pălăria șarpelui), bureți pestriți
NAFTOCHINONE		
Alruanină	brun-roșu	pigmentul din *Alkanna tinctoria*
Droseronă	galben	roua cerului
Echinocrom	roșu închis	ariciul de mare
Ftiocol	galben	pigmentul din bacilii tuberculozei
Juglonă	brun-roșu	coaja nucilor verzi
Lapachol	galben	pigmentul lemnului de Lapacho (America de sud)
Lawsonă	galben	hennă
Shiconină	brun-roșcat	mărgelușe
ANTRACHINONE		
Antrachinonă	galben deschis	lemnul de quebracho
Acid carminic	roșu	din insecta *Coccus cacti*
Acid kermesic	roșu	din insecta *Coccus ilicis*
Alizarină	roșu-portocaliu	în rădăcina de roibă
Helmintosporină	brun-roșu	ciuperci
Xilindeină (indigo de lemn)	violet	pigmentul ciupercilor care cresc pe crăci rupte sau lemnul putrezit de fag, mesteacăn sau stejar

Pigmenții pielii

Spre deosebire de lumea vegetală caracterizată printr-o gamă variată de pigmenți cu structuri foarte diferite, lumea animală, în special mamiferele, posedă un sistem pigmentar unic ca structură chimică, care aco-

peră toată gama de culori. Această clasă de pigmenţi, numiţi **melanine**, se împarte în două grupe mari — **eumelaninele**, care produc pigmentarea în nuanţe închise negru-brune, şi **feomelaninele**, cu nuanţe de la galben la brun-roşcat.

În general pigmentarea vizibilă a mamiferelor este determinată de culoarea părului care acoperă aproape în întregime corpul animalelor, culoare care variază de la galben, portocaliu, roşiatic, brun pînă la negru, inclusiv alb sau cenuşiu. De remarcat că mamiferele nu apar colorate în verde, albastru sau violet, culori foarte răspîndite la plante. La om, al cărui corp este puţin acoperit de păr, se poate observa cel mai bine pigmentarea pielii, deşi diferenţele sînt foarte mari, de la galbenul foarte deschis, aproape alb, pînă la brun-negru.

Unele culori sînt nepigmentare, adică apar ca urmare a unor fenomene fizice, ca difracţia, dispersia sau interferenţa luminii. În acest mod se explică culoarea albastră a ochilor sau nuanţele albastre ale pielii unor maimuţe.

Cele două grupe de pigmenţi menţionaţi, a căror structură exactă nu a fost încă determinată, au ca origine comună acelaşi proces biogenetic, adică sînt formate prin oxidarea enzimatică a unor aminoacizi. Prin 1878 Sorby descoperise un grup de pigmenţi extraşi din părul roşu al omului pe care îi numise trichosiderine (din grecescul *trichos*=păr şi *sideron*=fier) deoarece unele date analitice indicaseră prezenţa fierului. Aceşti pigmenţi au fost redescoperiţi şi restudiaţi după 55 ani de Rothman şi Flesch, care i-au numit trichocromi (=pigmenţi ai părului) atribuindu-le însă o structură chimică eronată — din cauza metodelor neadecvate utilizate la izolarea şi purificarea substanţelor respective. Ulterior s-a stabilit că de fapt şi aceşti trichocromi sînt înrudiţi biogenetic cu melaninele, avînd aceeaşi origine metabolică comună.

Pigmentarea mamiferelor este produsă prin secreţia unor anumite celule specializate, numite melanocite, aşezate la rădăcina părului la limita dintre epidermă şi dermă. Formarea pigmentului, adică procesul biochimic propriu-zis are loc într-o anumită zonă citoplasmică a melanocitei, numită melanosom, în care se produce oxidarea aminoacidului tirosina sub acţiunea unor enzime (tirozinaza, dopaoxidaza şi peroxidaza).

Aceste celule, melanocitele, sînt doar fabrica producătoare de pigment, distribuirea pigmenţilor în epidermă şi în păr se realizează prin intermediul unor alte celule, keratinocitele, care sînt totodată producătoare de keratină, materialul din care este constituit firul de păr.

În ciuda muncii de cercetare intense în vederea elucidării structurii chimice a pigmenţilor melaninici, pînă în prezent datele sînt limitate. Dintre feomelanine s-au izolat şi s-a stabilit structura reală doar la trei trichocromi şi anume denumiţi C — galben, E şi F — violeţi, izolaţi din penele de găină şi apoi din părul roşu. Deşi aceşti pigmenţi au o capacitate tinctorială foarte mare, totuşi ei reprezintă doar o fracţiune din numărul total de pigmenţi din păr. Interesant este faptul că trichocromii E şi F au proprietăţi de indicator, adică îşi modifică culoarea în funcţie de mediul în care se află: ei sînt violeţi în mediu acid şi roşii în mediu bazic.

Dintre eumelanine, cel mai mult a fost studiată sepiamelanina izolată prima dată din sacul de cerneală al sepiei (*Sepia officinalis*) dar identificată şi în irisul ochiului de bovine şi în părul şobolanilor, cît şi în părul negru uman. Deşi produsul a fost intens studiat, structura sa chimică corectă nu a fost încă lămurită.

Principala deosebire chimică structurală dintre eumelanine şi feomelanine este faptul că eumelaninele conţin azot în moleculă, iar feomelaninele conţin pe lîngă azot

și sulf, care nu este prezent în molecula eumelaninelor. Din punct de vedere biogenetic ambele tipuri de pigmenți se formează prin oxidarea enzimatică a tirosinei, ceea ce a fost demonstrat încă din 1895. Diferențierea celor două grupe de pigmenți se produce prin intervenția, în procesul complex de oxidare enzimatică a tirosinei, a unui alt aminoacid — cisteina — care conține și sulf și care duce astfel la formarea feomelaninelor. Ambele tipuri de pigmenți se pot regăsi în același organism animal, ceea ce explică de ce multe animale au dungi divers colorate, pete de diverse nuanțe etc. Dealtfel, pigmentarea pielii și deci și a părului este determinată de o serie de factori dintre care cel principal este bineînțeles distribuția și dimensiunea melanocitelor și a keratinocitelor, celulele producătoare și distribuitoare de pigment, dar pe lîngă care un rol important îl joacă și coeficientul de reflexie a suprafeței pielii, gradul de absorbție a celulelor dermice și epidermice, grosimea straturilor, numărul și distribuția spațială a vaselor sanguine, cantitatea relativă de sînge care curge prin aceste vase.

Există însă și o serie de stimulatori ai biosintezei uneia sau alteia din cele două grupe de melanine. Astfel, hormonul stimulator al melanocitelor (MSH) provoacă o intensificare a biosintezei de eumelanine și astfel șoarecii galbeni tratați cu MSH devin negri. Stimularea se poate face și termic și chiar mecanic. Flesch a reușit să inducă pigmentarea neagră a părului unor iepuri roșii din Noua Zeelandă prin frecarea viguroasă a pielii.

Încărunțirea și albirea părului la om este o parte integrantă a procesului fiziologic de îmbătrînire. Încărunțirea se datorează reducerii activității de sintetizare a pigmenților de către melanocite, iar albirea se datorează lipsei de melanocite. Mecanismul acestor procese nu a fost încă explicat mulțumitor. De asemenea nu s-a

putut încă explica depigmentarea rapidă a părului la om în urma unor șocuri psihice.

Deficiența pigmentării totale, de obicei ereditară, poartă numele de albinism și se datorează lipsei de melanocite. Există și unele deficiențe locale, de la pete mari albe pe corp pînă la meșe de păr alb, determinate de lipsa de melanocite în acele zone ale epidermei. Unele deficiențe de pigmentare se datorează și lipsei unor anumite microelemente sau a unor vitamine din hrană. De exemplu, absența urmelor de cupru din hrană produce o depigmentare intensă deoarece cuprul este gruparea prostetică a enzimei tirozinaza care participă la biosinteza melaninelor. Totodată încărunțirea și chelia pot fi provocate prin devitaminoză avansată, în special prin lipsa vitaminei B_2, a acidului folic sau a acidului pantotenic.

Una din funcțiile cele mai importante ale melaninelor este aceea de protejare a țesuturilor interioare, în special a acizilor nucleici și a proteinelor, împotriva radiațiilor ultraviolete din lumina solară care distrug aceste componente celulare esențiale. Melaninele absorb puternic aceste radiații îndeplinindu-și funcția lor protectoare. Melanocitele care sintetizează melaninele sînt activate de radiațiile ultraviolete, ceea ce determină procesul de bronzare prin expunere la soare, adică procesul de pigmentare a pielii prin accelerarea procesului de sinteză a melaninelor.

Un dezavantaj al pigmentării excesive a pielii este inhibarea biosintezei vitaminei D, proces în care radiațiile ultraviolete joacă un rol determinant, ceea ce duce la apariția frecventă a rahitismului, ca rezultat a unei carențe de vitamină D la oamenii cu o pigmentare excesivă a pielii.

Dintre melanine, cel mai puternic absorb în domeniul ultraviolet eumelaninele, pe cînd feomelaninele sînt mai puțin eficiente ca absorbanți de radiații ultravio-

lete. Din acest motiv, indivizii care au o pigmentare predominant feomelaninică (oamenii blonzi sau cu părul roşu) sînt deseori intoleranţi la expunerea excesivă la lumină solară, cum sînt cei care trăiesc în zone de iradiere solară mai redusă, adică în zonele nordice ale globului.

Nestematele

Magia culorilor nu este doar un joc al formelor de viaţă. Lumea moartă, lumea nevie, lumea minerală, pămîntul din care îşi trag seva toate formele de viaţă, îţi are şi ea tainele sale de culori, parcă într-adins mai ascunse, mai discrete, ca să pară mai senzaţionale. La prima vedere lumea minerală ne apare ternă, în nuanţe cenuşii, brune sau negre, compensate doar de minunatele jocuri de volume ale formelor de relief. Culoarea pietrelor nu ne încîntă, dar în adîncuri, legile chimiei au ştiut să făurească lucruri minunate — nestematele, cu atît mai frumoase, cu cît sînt mai rare, mai puţin banale, mai neaşteptate.

În nesăţioasa sa curiozitate şi căutare, omul a găsit, de cele mai multe ori din întîmplare, obiecte curioase ca formă, dar minunat colorate. Frumuseţea acestor pietre strălucitoare, ca şi raritatea lor, i-a făcut pe oameni să le preţuiască uneori într-atît că au uitat că sînt doar banale bucăţi de piatră, de materie. De-a lungul istoriei, aceste pietre au provocat multe suferinţe şi au sacrificat multe vieţi datorită egoismului şi răutăţii unora, puţini la număr, care au vrut să le stăpînească, nu din dragostea pentru frumos, ci din pofta de putere şi bogăţie.

Nestematele, florile de piatră, sînt simple bucăţi de minerale, formate din întîmplare în cursul complicatelor şi lentelor procese de întărire a scoarţei pămîntului,

cu structuri chimice bine cunoscute și care se supun tuturor legilor chimiei descoperite de om. Ele nu au puteri malefice așa cum le atribuiseră în decursul veacurilor oamenii, mai mult pentru a le feri de rîvna celorlalți, ci au doar calitatea de a fi frumos colorate. În stare naturală, neprelucrate, pietrele prețioase poartă numele de geme. În această formă strălucirea lor este mai redusă deoarece au forme neregulate și deci reflexia luminii care le conferă strălucirea nu este uniformă.

Puține dintre mineralele propriu-zise din care sînt constituite gemele sînt ele în sine colorate. Majoritatea mineralelor de bază sînt incolore, iar culoarea le este conferită de prezența în cantități foarte mici a unor impurități colorate, uniform răspîndite în masa mineralului incolor. Acest lucru s-a realizat în mod natural datorită unui concurs de împrejurări favorabile în care principalii factori cu rol determinant îl reprezintă temperatura și mai ales presiunea de cristalizare a magmei, firește legate și de coexistența în mediu a diverșilor compuși care conferă culoarea respectivă. Așadar se poate spune că gemele sînt accidente naturale, de unde și răspîndirea lor limitată, ceea ce este poate principalul factor care le acordă valoarea.

Pentru desăvîrșirea și evidențierea frumuseții și calității gemei, aceasta se supune unor procese delicate și laborioase de tăiere și șlefuire, dîndui-se cele mai diverse forme, toate cu scopul de a realiza suprafețe cît mai regulate, procese care pe lîngă faptul că elimină impuritățile prezente în mod natural, creînd aceste forme regulate măresc gradul de reflexie a luminii și deci strălucirea pietrei astfel prelucrate.

Ideea de tăiere și de prelucrare a gemelor naturale este cunoscută din antichitate, în ciuda faptului că uneori acest lucru se face foarte greu deoarece multe din aceste minerale se caracterizează prin durități ex-

cepţional de mari. Astfel corindonul, mineralul de bază al rubinului şi safirului, are duritatea 9 pe scara Mohs (scară de duritate cu valori de la 1 la 10), fiind depăşit doar de diamant care are duritatea 10. Se pare chiar că şi Romanii cunoşteau această proprietate a diamantului (o formă alotropică cristalină a carbonului) şi îl foloseau pentru prelucrarea celorlalte pietre preţioase mai puţin dure decît el. În istorie a rămas fixat anul 1457 ca data cînd a fost descoperit procedeul de prelucrare a diamantului cu pulbere de diamant obţinută prin frecarea a două bucăţi din acest material între ele. Procedeul a fost descoperit de Louis de Berquem, originar din Bruges, dar care apoi a creat o mulţime de asemenea ateliere în toată Olanda. Totuşi se pare că secretul tăierii diamantului era cunoscut, după unele informaţii istorice, încă înaintea lui Berquem, dar tehnologia era imperfectă şi rezultatele erau mai modeste. Procedeul lui Berquem a creat o asemenea revoluţie în această artă a şlefuitorilor de diamante încît data a rămas fixată ca memorabilă.

Căutarea şi preţuirea pietrelor preţioase s-a făcut din timpuri legendare. Obiceiul de a le colecţiona era foarte răspîndit în toate ţările asiatice, poate mai ales pentru că în această regiune a globului se află cele mai multe zăcăminte din cele mai diverse geme. Spiritul de colecţionare şi tezaurizare a acestor nestemate a fost preluat de egipteni, greci şi romani şi s-a răspîndit în toată lumea. Se spune că celebrul rege al Pontului, Mitridate cel Mare, aprigul duşman al Romanilor, ar fi posedat o colecţie de vreo 4 000 de pietre preţioase.

Odată cu tendinţa de tezaurizare a pietrelor preţioase a apărut şi tendinţa de creare a falsurilor. Procedeele au fost numeroase şi foarte variate, oamenii dînd dovadă de multă inventivitate în fabricarea de imitaţii. Crearea acestor imitaţii a devenit însă o adevărată industrie doar în secolul 18 cînd germanul Stras a des-

coperit un procedeu de colorare a sticlei imitînd aproape perfect diversele tipuri de pietre prețioase. Procedeul, cu toate îmbunătățirile de rigoare, se aplică și în prezent, iar termenul de strasuri a intrat în vorbirea curentă.

Dintotdeauna se atribuiau pietrelor prețioase puteri supranaturale. Probabil că la început erau purtate și considerate ca talismane. Legendele privind virtuțile extraordinare ale acestor pietre s-au înmulțit în vremea Cruciadelor cînd fiecare piatră a avut parte de o simbolistică bine definită: diamantul era talismanul împotriva farmecelor, rubinul combătea melancolia, safirul asigura bogăția, iar smaragdul certifica virtutea. În Germania secolului 15 fiecare lună a zodiacului își avea o piatră reprezentativă, ceea ce obliga femeile avute să-și schimbe lunar inelele.

Din punctul de vedere al șlefuitorilor, gemele erau clasificate în pietre prețioase propriu-zise — diamant, rubin, smaragd, safir, topaz, ametist și grenat — și pietre fine, mai puțin rare, mai puțin dure și mai puțin transparente — calcedonii, turcoaze, agat, opal, cornaline.

Clasificarea mai științifică a pietrelor prețioase se face din punct de vedere mineralogic în mai multe tipuri, după natura chimică a mineralului din care sînt constituite. Aceasta va fi dealtfel și clasificarea pe care o vom urmări în descrierea care urmează.

a. Grupa corindonului

Corindonul sau oxidul de aluminiu α este un mineral relativ răspîndit care stă la baza unora din cele mai „prețioase" pietre prețioase. Corindonul se găsește în zăcăminte sub formă de cristale hexagonale incolore

sau gălbui, iar impurificat cu diverşi oxizi metalici care îi dau o culoare cenuşie-neagră formează zăcăminte mari care se exploatează în mod curent, fiind una din materiile prime utilizate la fabricarea aluminiului.

Corindonul, a cărui denumire provine din cuvîntul indian corund, se caracterizează după cum am mai amintit printr-o duritate foarte mare şi o temperatură de topire de 2 050°C. Corindonul natural impur sau cel obţinut artificial din hidroxid de aluminiu prin topirea în cuptorul cu arc electric se foloseşte la fabricarea pietrelor de polizor sau, în stare fin mărunţită, ca pulbere de şlefuit sub numele uzual de şmirghel. Tot din corindon, datorită temperaturii sale ridicate de topire şi a inerţiei sale chimice, se fabrică materiale refractare cum sînt de exemplu cărămizile utilizate la căptuşirea cuptoarelor de ciment. În fine, corindonul mai serveşte ca material de bază la fabricarea de lasere şi masere, adăugîndu-se cantităţi strict determinate de oxizi de fier, crom, uraniu şi samariu.

Este interesant de remarcat că oxidul de aluminiu sau alumina se poate prezenta sub două forme cristaline: forma α, corindonul, care este forma cea mai stabilă, cu reţea hexagonală, şi forma γ, mai puţin stabilă, cu o structură a reţelei cristaline de tipul cubic centrat. Forma γ are o structură poroasă şi este larg utilizată drept catalizator sau ca suport catalitic în numeroase reacţii de sinteză a unor substanţe organice.

Cristalele de corindon foarte pur sînt transparente şi poartă numele de *safir alb*. Dacă aceste cristale hexagonale de corindon sînt impurificate cu 0,1—0,2% oxid de titan şi urme de fier, coloraţia este albastră şi piatra poartă numele de *safir*. Numele safirului, care în latină era *sapphirus*, iar în greaca veche *sappheiros*, provine din ebraică *sappir* care înseamnă „cel mai frumos lucru". Grecii apreciau foarte mult această

piatră care poate căpăta diverse tonuri de la albastru închis, aproape indigo (safirul masculin) pînă la albastru deschis, transparent (safirul feminin) şi îl consacrau cultului lui Zeus.

Corindonul impurificat cu urme de oxid de crom capătă o culoare roşie — *ruber* în latină — care a dat numele de *rubin*.

Odată cu punerea la punct în 1904 de către Verneuil a procedeului industrial de fabricare a oxidului de aluminiu foarte pur, s-a reuşit să se treacă şi la fabricarea sintetică pe scară industrială şi a safirelor şi rubinelor, nu atît pentru a concura pe cele naturale şi a le reduce valoarea, ci mai mult pentru proprietăţile de duritate ale acestor materiale. Rubinul sintetic, ca şi cel natural, se caracterizează de asemenea printr-o duritate excepţională (tot 9 pe scara Mohs) şi se utilizează pe larg ca lagăre pentru ceasuri şi pentru alte aparate de precizie. De fapt în realizarea materialelor sintetice se respectă cu stricteţe compoziţia chimică a pietrelor naturale, adăugîndu-se în corindonul pur în stare topită aceleaşi impurităţi care conferă coloraţia respectivă a pietrelor naturale, adică oxid de fier şi oxid de titan pentru safir şi oxid de crom (1—2%) pentru rubin şi făcîndu-se o dispersie uniformă a acestor adaosuri pentru ca ele să fie uniform înglobate în cristal în cursul procesului de răcire şi cristalizare.

În afară de acest rubin, pe bază de corindon, numit şi rubin oriental, cu o coloraţie roşie strălucitoare intensă, mai există şi alte pietre colorate în diverse nuanţe de roşu care au căpătat tot denumirea de rubin, dar care au o altă structură chimică. Astfel este *rubinul spinel*, de un roşu mai puţin strălucitor, dar mai închis ca nuanţă. Din punct de vedere chimic, spinelul este tot un compus care conţine aluminiu şi anume aluminat de magneziu. De fapt acest compus este repre-

zentanul tipic al unei grupe mai largi de minerale numită generic spinel, avînd ca trăsătură comună forma specifică de cristalizare, în care atomul de magneziu poate fi înlocuit și cu alte elemente, iar în locul aluminiului poate fi fier sau crom. Caracteristica tuturor spinelilor este de a avea o rețea cristalină cubică centrată, asemănătoare cu a oxidului de aluminiu α. Acești spineli pe bază de aluminat de magneziu apar divers colorați. Pe lîngă rubinul spinel, mai există și alte varietăți, cum este *rubinul* numit „balais" cu o colorație roz, uneori foarte deschisă, sau o altă varietate de spinel, *rubicelul* care este galben cu nuanțe roz.

După cum a reieșit pînă acum, toate aceste minerale colorate își datorează culoarea nu faptului că materialul de bază este colorat în sine, ci datorită prezenței unor anumite substanțe colorante în anumite cantități (de obicei în urme) în acest material. Culoarea este așadar determinată nu de natura materialului de bază (sau doar în foarte mică măsură de acesta) ci de natura chimică a impurităților. De aceea aceeași colorație poate să apară la minerale cu structură de bază foarte diferită, conținînd însă aceleași impurități care conferă culoarea. Acest lucru a dus la faptul că o aceeași denumire se atribuie unor materiale foarte diferite ca structură și compoziție mai ales dacă ținem seama de faptul că de cele mai multe ori se mențin denumiri vechi, date într-o vreme în care nu se cunoșteau prea multe lucruri despre chimie și compoziția chimică a substanțelor naturale.

De aceea mai sînt cunoscute și alte pietre care poartă denumirea de rubin, pentru că sînt colorate în diverse tonuri de roșu, dar care au compoziții chimice cu totul diferite. De exemplu, *rubinul de Siberia* sau *rubelita* este un borosilicat de magneziu, iar *rubinul de Boemia* este un cuarț (bioxid de siliciu) roz.

b. Grupa silicaților

Siliciul reprezintă elementul de bază, central, al lumii minerale, oarecum ceea ce reprezintă carbonul pentru lumea organică. Abundența siliciului în scoarța pămîntului este extrem de mare, fiind al doilea element ca răspîndire, după oxigen, această clasificare făcîndu-se numai pentru straturile geologice care au putut fi accesibile unei analize chimice riguroase.

Siliciul nu se găsește niciodată ca atare sub formă elementară, ci întotdeauna combinat cu oxigenul, în bioxidul de siliciu, sau și cu alte elemente în afară de oxigen, în silicați. De aceea mineralele conținînd diverse combinații ale siliciului sînt foarte răspîndite și totodată foarte diversificate din punct de vedere al compoziției chimice. Unele dintre ele sînt și minunat colorate creînd o serie de nestemate frumoase.

Smaragdul, frumoasa piatră prețioasă verde, este un aluminosilicat de beriliu. Mineralogic el se mai numește și beril, fiind cel mai răspîndit mineral care conține elementul beriliu.

Denumirea de smaragd, preluată din latinescul *smaragdus*, își are originea în cuvîntul caldeian *samorat*. În spaniolă a dat numele propriu Esmeralda, care inițial însemna cu ochi verzi. Denumirea de smaragd se conferă cristalelor de beril verzi care conțin și cantități mici de oxid de crom care le conferă culoarea verde, iar termenul de beril se păstrează pentru varietățile verzi-gălbui mai puțin apreciate.

Exploatarea smaragdelor se făcea din cele mai vechi timpuri. În scrierile diverșilor istorici ai antichității se menționa un zăcămînt celebru de smaragde situat în Egiptul de sus, în apropiere de Marea Roșie, în muntele Zaboralo. În 1829 Cailloud a descoperit în Egipt vestigiile unei vechi exploatări miniere cu galerii care coborau pînă la 100 m în pămînt, ceea ce demon-

strează cît de apreciate erau aceste geme în vechime. Se pare că smaragdul era una din podoabele cele mai apreciate la popoarele antice, după multitudinea de menționări făcute de istorici. Se vorbea des de exploatările de smaragde din Sciția. Etruscii își făceau coliere din aceste pietre prețioase, iar la Egipteni se vorbea de statui și coloane confecționate din smaragde imense, care au dispărut cu desăvîrșire, dar care probabil nici nu au existat, fiind doar exagerări destul de frecvent întîlnite în multe scrieri antice. Pliniu povestește că împăratul roman Nero urmărea luptele gladiatorilor privind printr-o lentilă care, afirma el, ar fi fost șlefuită din smaragd, dar probabil că se înșală căci smaragdul nu are proprietăți de transparență și focalizare atît de bune, și dacă într-adevăr ar fi făcut așa, împăratul n-ar mai fi văzut nimic.

Cele mai celebre geme de smaragd provin din Muzo, o localitate din Columbia. Exploatarea lor a început în 1568 de către spanioli după ce cuceriseră și nimiciseră cu greu tribul local numit Muso.

Smaragdul se prezintă sub formă de cristale ortorombice, transparente sau translucide, cu dezavantajul că se sparge foarte ușor avînd și o duritate relativ mică, de numai 7,5.

Imitarea smaragdului se realizează foarte ușor. Falsurile au apărut încă din epoca Renașterii, iar în 1930 I. G. Farbenindustrie a reușit fabricarea de smaragde sintetice printr-un procedeu hidrotermal și denumite comercial igmeralde.

O varietate de smaragde, colorată în albastru intens și mult mai transparentă, este *acvamarinul* (în franceză *aigue-marine*, din franceza veche în care *aigue* însemna apă). Cristalele de acvamarin ajung la dimensiuni enorme uneori de 1 m lungime și putînd cîntări pînă la 100 kg.

Se povestește că în cetatea feniciană Tir, celebră pentru bogățiile sale datorită comerțului extins pe care îl făceau, templele închinate diverselor zeități aveau pereții decorați cu acvamarin, creînd o atmosferă sumbră mistică.

Mai există încă două minerale de alumosilicat de beriliu, mai puțin răspîndite și căutate — *fenacitul* (din grecescul *fenas* — înșelător, deoarece se confundă ușor la prima vedere cu cuarțul) colorat în galben sau brun, dar uneori și incolor, și *euclasul*, de culoare verde deschis, a cărui denumire a fost creată de Haüy, creatorul cristalografiei, datorită proprietății de a cliva foarte ușor, adică de a se desface în foițe subțiri de-a lungul unui plan al cristalului.

Topazul este o piatră galbenă aurie. Ca structură chimică, topazul este un fluorosilicat de aluminiu. Numele său derivă după Pliniu, din numele unei insule din Marea Roșie, numită de greci Topaizos, unde se aflau zăcăminte bogate din aceste geme. Gemele din Scoția se caracterizează prin dimensiunile lor mult mai mari decît cele care se găsesc în mod obișnuit.

Anticii credeau că topazul combate epilepsia și melancolia. Ca și chihlimbarul topazul se electrizează prin frecare și probabil că această proprietate care părea curioasă în acea vreme să fi creat convingerea privind calitățile terapeutice ale topazului.

O varietate de topaz, numită de Brazilia, are un aspect galben mai transparent. Dumelle a descoperit prin 1750 că prin încălzire această varietate capătă o colorație roz stabilă ceea ce a creat așa-numitul *topaz ars*, foarte apreciat pentru culoarea și mai ales pentru transparența sa.

Topazurile sintetice se obțin însă din corindon colorat cu urme de oxizi de nichel și de magneziu, conferind o culoare aurie strălucitoare, uneori mai frumoasă decît a mineralului natural.

Turmalinele. În această grupă sînt cuprinşi o serie de borosilicaţi de aluminiu conţinînd şi ioni de fluorură, cu aspecte foarte variate şi divers coloraţi datorită prezenţei în cantităţi diferite de oxizi de fier, mangan, magneziu sau de ioni alcalini.

Denumirea provine din Turamali, o insulă din Ceylon. Acest nume a apărut prin 1703. Numele mai vechi era cel de Schorl şi se atribuia mineralului colorat în negru care conţine oxizi de fier bivalent şi trivalent.

Cînd conţine oxizi de magneziu, culoarea este brună sau galben închis în funcţie de concentraţia oxidului de magneziu. Varietăţile cu fier şi magneziu sînt brun închis sau negre, în raport cu cantitatea de fier. Cele conţinînd fier şi mangan sînt albastre (*indicalite*).

Turmalinele negre reprezintă poate unul din cele mai vechi minerale cunoscute şi folosite ca obiecte de podoabă, lucru certificat prin găsirea lor în cele mai vechi morminte descoperite de arheologi.

Din punct de vedere chimic, ortosilicaţii, săruri ale acidului ortosilicic, au o structură destul de simplă. Ei se împart la rîndul lor în mai multe grupe în funcţie de natura cationului pe care îl conţin.

De exemplu, grupa peridotului cuprinde diverşi ortosilicaţi în care predomină magneziul şi fierul în diverse proporţii, toţi fiind cristalizaţi în sistem rombic. Dintre aceştia, *crisolitul* are o coloraţie verde gălbuie şi este folosit ca piatră preţioasă. El este un ortosilicat de magneziu cu un procent redus de fier.

Şi celelalte minerale din grupa peridotului sînt colorate, ca, de exemplu, olivina de culoarea uleiului de măsline, hialosiderita, roşiatică, sau fayolita (de la Fayol din insulele Azore) de culoare neagră, dar acestea se găsesc sub formă de conglomerate granulare răspîndite în masa diverselor altor roci şi nu sînt apreciate (încă!) drept pietre preţioase.

Zirconul (sau mai vechi jircon), derivat din numele italienesc giargone, este un ortosilicat de zirconiu. El se găseşte frecvent în aluviunile aurifere. Cea mai preţuită dintre varietăţi este cea galbenă, numită deseori şi diamant galben pentru puterea sa de reflecţie a luminii asemănătoare cu a diamantului. Înainte, sub denumirea de zircon se desemnau şi o serie de cuarţuri galbene, destul de asemănătoare cu diamantul, dar avînd evident compoziţii cu totul diferite.

Zirconul, care cristalizează în sistem patratic, se poate prezenta sub diverse aspecte din punct de vedere al culorii şi anume roşu, verzui, violet, albastru cu reflexe negre. O varietate destul de apreciată este cea galben roşiatică numită *hiacint*, care se găseşte mai răspîndită în formaţiunile vulcanice de pe malul Loarei la Expailly în Franţa.

Zirconul hidratat cu un conţinut de 5% apă, numit Malacon, nu mai are gradul de transparenţă şi puritate a celui nehidratat, ceea ce demonstrează încă o dată ce efecte remarcabile poate avea prezenţa unor procente reduse de substanţe străine în structura cristalului.

Grenat este numele generic al unei clase de ortosilicaţi ce conţin cationi bivalenţi (calciu, magneziu, fier, mangan) şi trivalenţi (în special aluminiu, dar şi crom sau fier). Toate grenatele se găsesc sub formă de cristale cubice cu forme de dodecaedru romboidal sau trapezoidal.

Numele vine din latinescul *granatum*, majoritatea grenatelor fiind de culoare roşie, strălucitoare. Vechii greci credeau că grenatele au proprietatea de a străluci şi în întuneric, lucru care însă n-a fost verificat niciodată.

În funcţie de natura cationilor prezenţi, grenatele sînt diferit colorate şi cu tonuri diferite. Astfel, cele cu aluminiu şi magneziu, numite şi *pirop* sau grenat de Boemia, sînt roşii ca focul. Grenatul oriental sau sirian

(sau almandina) conţine aluminiu şi fier şi este roşu-brun. Acesta este cel mai răspîndit. Numele său derivă de la un oraş din Asia Mică, Alabandicus, unde, după Pliniu, se şlefuiau grenatele. Grenatul grosular are aluminiu şi calciu şi este verde-gălbui, dar se găseşte şi într-o mulţime de alte variante colorate de la alb verzui pînă la brun. Spesartina, denumită astfel pentru că s-a găsit în rîul Spessart din Bavaria, conţine aluminiu şi mangan şi este colorată în galben. Melanita este un grenat ce conţine fier şi calciu şi denumit astfel datorită culorii sale negre. Mai există şi alte variante divers colorate, cea mai frumoasă fiind topazolita de culoare galben deschis. În fine ouvarowita, un grenat cu crom şi calciu, este colorată în verde.

Cei mai răspîndiţi silicaţi sînt cei tridimensionali, cu o structură tridimensională macromoleculară, avînd o reţea constituită din atomi de aluminiu şi siliciu. În această grupă intră feldspaţii care reprezintă 58% din structura scoarţei pămîntului. Tot din cadrul acestor silicaţi tridimensionali fac parte şi ultramarinele, un grup de minerale care pot fi incolore (sodalita) sau colorate în albastru cum este ultramarinul şi piatra preţioasă *lapis-lazuli*.

Denumirea de ultramarin se datorează faptului că mineralul se importa de „peste mare“, găsindu-se în zăcăminte numeroase în Asia, mai ales în Iran şi în jurul lacului Baikal. Culoarea albastră este determinată de prezenţa în celula elementară a macromoleculei a sulfului. Sodalita, care în loc de sulf conţine clor, este în schimb incoloră.

Ultramarinul se prepară sintetic foarte uşor prin topirea unui amestec de argilă cu carbonat de sodiu şi sulf şi se comercializează sub numele uzual de scrobeală albastră.

Lapis-lazuli, care înseamnă piatră de azur (*lapis*= piatră şi *lazuli*=azur) este o formă cristalină cubică,

mai pură, a ultramarinului. În afară de utilizarea sa ca piatră semiprețioasă, lapis-lazuli s-a folosit mult timp în pictură.

Cunoscutul mineral verde alburiu, *jadul*, face parte din clasa silicaților fibroși, compuși cu structură macroionică. Jadul face parte din subgrupa silicaților fibroși numiți amfiboli, constituiți din lanțuri macroionice duble. Jadul este de fapt o varietate de tremolit, un silicat bazic de calciu și magneziu.

Numele de *jad* este de fapt de origină spaniolă, prescurtarea de la *„piedra de ijada"* care însemna piatra pentru iliac, deoarece se considera că poate vindeca piatra la rinichi. Dealtfel o varietate de jad se numește *nefrit*, cum sînt nefritul de China sau nefritul de Siberia, ambele pietre fiind verzui sau măslinii cu nuanțe albicioase. Numele de nefrit se păstrează din evul mediu, cînd pulberea se folosea ca unic medicament în tratamentul bolilor de rinichi. Jadul are o duritate mare (6—6,5) datorită structurii sale de fibre fine răsucite între ele. Fiind așadar suficient de dur și tenace s-a folosit foarte mult la gravarea cameelor.

În China antică, jadul ocupa un loc de frunte, fiind cotat printre materiile esențiale, alături de soare și stele. Era denumit piatra divină, considerat ca simbol al perfecțiunii absolute. În ritualurile complicate de purificare a sufletului și trupului care se făceau la o anumită dată în fiecare an, împăratul trebuia, vrînd-nevrînd, ca simbol al purificării supreme, să înghită o anumită doză de pulbere de jad.

Deoarece în zăcăminte, jadul se găsește sub formă de conglomerate destul de voluminoase, a fost destul de mult utilizat la confecționarea de statuete și de bibelouri.

c. Grupa bioxidului de siliciu

Bioxidul de siliciu sau silicea există în natură răspîndit atît ca atare, în stare pură, cît și ca o componentă a multor roci. El se prezintă în mod natural sub trei forme cristaline polimorfe, precum și ca diferite forme amorfe sau microcristaline. Cele trei forme cristaline sînt cuarțul, tridimita și cristobalita. Fiecare formă cristalină există la rîndul ei în două modificații — una α, stabilă la temperatura normală, și una β, stabilă la temperaturi mai ridicate.

Cuarțul este una din componentele de bază ale rocilor primare, gneisul, micașisturile și granitul. El mai poate apărea sub formă cristalină, uneori ca cristale uriașe pînă la 1 m lungime, cîntărind 300—400 kg, în vecinătatea zonelor eruptive.

Cristalele de cuarț pur α sînt romboedrice, incolore și transparente. Ele poartă numele de *cristal de stîncă.* Ca și la corindon, prezența unor substanțe străine, necesară doar în urme, produce colorarea cristalului de cuarț în cele mai variate culori.

Dintre acestea, *ametistul* este colorat violet. Agentul colorant este oxidul de mangan. În funcție de concentrația impurității de oxid de mangan, culoarea variază de la violet deschis (ametist de Uruguay) pînă la violet închis, aproape negru (Franța).

Denumirea provine de la cuvîntul grecesc *amethystos*, însemnînd „care nu îmbată“, căci anticii aveau credința fermă că dacă bei dintr-o cupă de ametist nu te îmbeți niciodată. Aceasta explică și numărul destul de mare de asemenea cupe din ametist găsite în diversele săpături, care aveau gravate pe ele pe Bacchus, zeul vinului, sau pe Silene, tatăl satirilor, tovarășul de petreceri al lui Bacchus.

Aventurin, brun sau roșiatic, conține în masa cristalului de cuarț numeroase puncte strălucitoare cu aspect

de paiete de aur formate de obicei din mică, care reflectă puternic lumina și lucesc foarte viu. Această varietate de aventurin se întîlnește frecvent pe malul mării Albe și în Boemia. O altă varietate, care se întîlnește mai des în Spania și în Scoția, prezintă același efect de luciri aurii, dar fenomenul se datorează prezenței în cristal a unor mici fante microscopice care reflectă diferit lumina.

Numele de aventurin provine din italienește, *avventura*=întîmplare, hazard, deoarece se spune că un tînăr ucenic bijutier a descoperit din întîmplare sau din greșeală procedeul de fabricare sintetică a acestor pietre. Într-un creuzet în care se afla sticla topită, el a lăsat să cadă puțină strujitură de cupru care s-a răspîndit în masa de sticlă topită, care la răcire a dat un material cu un aspect strălucitor ca al aventurinului natural.

Ochi de pisică este o varietate de cuarț pătruns cu fire de amiantă — un silicat fibros — care îi imprimă un reflex mai aparte care amintește de un ochi de pisică (sau de tigru).

Celelalte varietăți naturale colorate de cuarț, cum sînt cuarțul fumuriu sau morionul (cenușiu sau negru), citrinul sau topazul fals (galben), cuarțul feruginos sau hiacintul de Compostella (galben ca mierea), cuarțul hematoid (roșu ca sîngele), cuarțul lăptos etc., nu au căpătat calitatea de obiecte de podoabă, fie datorită faptului că nu prezintă culori prea frumoase, fie că sînt prea comune.

În prezent, prin procedeul hidrotermal, care se aseamănă cu procesul natural de formare a cristalelor de cuarț prin cristalizare din soluții apoase sub presiune, se fabrică cristale de cuarț folosite fie ca pietre semiprețioase, fie mai ales la construcția unor aparate care folosesc proprietățile piezoelectrice ale cristalului de cuarț.

Bioxidul de siliciu mai apare în stare naturală, în afară de cele trei forme cristaline menţionate, sub o formă aparent amorfă din punct de vedere macroscopic, dar care s-a dovedit prin studiul cristalografic cu raze X că este microcristalină, cu aspectul cuarţului α. Aceste forme microcristaline sînt cunoscute sub numele de *calcedonii* şi au un aspect translucid compact, unele dintre ele fiind colorate, avînd fiecare în parte denumiri diferite.

Calcedonia propriu-zisă este lăptoasă, uneori cu nuanţe albăstrii. *Cornalina* este roşie, coloraţia fiind dată de prezenţa unor oxizi de fier; *crisoprasul* este verde datorită prezenţei oxidului de nichel; *heliotropul* sau *jaspul sîngeriu* este verde cu pete roşii ca sîngele; *sardonia* este brună portocalie.

Dintre toate varietăţile de calcedonie, cea mai interesantă este *agatul*, care conţine zone concentrice de culori diferite, formate prin procese succesive de cristalizare. Numele de agat vine de la Achates, un rîu în Sicilia pe malul căruia se găseau gemele de agat. Acesta era o piatră foarte preţuită în antichitate. Legenda spune că Polycrat, tiranul din Samos, aducînd un sacrificiu zeiţei Fortuna ca să-i mulţumească pentru favorurile acordate, a aruncat în mare cel mai preţios lucru pe care îl poseda — o piatră de agat, care, ca dovadă că sacrificiul a fost acceptat, a fost găsită curînd în burta unui peşte. Se mai vorbeşte în izvoarele istoriei de celebra colecţie de agate a lui Mitridate.

Oricum, agatele apar ca avînd vinişoare colorate, transparente sau opace, uneori formînd un desen — agate ierbacee. Încă din vechime s-a găsit o metodă de colorare artificială a agatelor. Metoda, numită indiană, era de fapt foarte simplă şi consta în fierberea agatelor în ulei, ceea ce avea drept rezultat că se scoteau bulele de aer din fisurile microscopice ale pietrei şi umplerea lor cu ulei. Urma apoi un tratament cu acid

sulfuric care oxida uleiul pătruns în fisuri și astfel se formau vinișoare colorate în negru.

Onix este denumirea unei varietăți de agat în care stratificațiile apar mai dese, mai regulate și mai bine delimitate. Onixul (din cuvîntul grecesc *onux*=unghie) se folosea la confecționarea de camee prin gravarea pietrei. Celebrii scarabei sacri din Egipt erau confecționați din onix.

În prezent, atît agatul, cît și onixul se folosesc la confecționarea de mojare foarte dure folosite în laboratoarele de chimie și farmacie.

Bioxidul de siliciu, în fine, mai poate apărea în stare naturală și sub formă amorfă, avînd un conținut de apă variind între 3 și 13%. Aceste varietăți de silice amorfă se numesc *opal*. El se formează prin descompunerea hidrotermală a silicaților eruptivi, depunîndu-se din soluțiile apoase de bioxid de siliciu formate la temperaturi peste 200°C în straturile mai adînci ale scoarței. Și în prezent se constată depunerea unor astfel de concrețiuni de silice hidratată în gheizerii din Islanda (geyserit) și la Yellowstone în America.

Varietatea cea mai pură — *opalul nobil* — este albă și translucidă și are un joc de culori pe suprafață datorită unor fenomene de interferență a luminii în crăpăturile microscopice formate în cursul uscării gelului depus. Pe suprafața opalului se pot vedea culorile curcubeului. Opalul nu se șlefuiește, ci se taie, de obicei în forma numită „în picătură". La temperaturi mai ridicate sau mai scăzute, piatra își pierde din strălucire și de aceea se mai numește și sensitiva lumii minerale.

Opalul era foarte prețuit la romani. Se pare că trimiterea în exil a senatorului Nonus de către Marc Antoniu a fost determinată de opalul pe care îl poseda senatorul și la care rîvnea triumvirul ca să-l dea cadou Cleopatrei.

În evul mediu se credea că opalul apără de otravă şi cum se practica moda otrăvirilor, opalul era foarte căutat.

d. Turcoaze

Numele acestei geme a rămas acesta deoarece în Europa a apărut după cucerirea Bizanţului de către turci. Turcoaza este un fosfat de aluminiu hidratat, amorf, cu o duritate destul de mică, colorată în albastru sau uneori verzuie. Culoarea este de fapt dată de prezenţa unor cantităţi mici de oxid de cupru.

Există două varietăţi de turcoaze — *callaitul*, de care amintea şi Pliniu, sau turcoaza propriu-zisă care este un mineral, şi *odontolitul* sau turcoaza falsă, de origine organică, constituită de fapt din fragmente de dinţi şi de oase fosile, pietrificate cu fosfat de fier, colorate în albastru verzui şi mult mai puţin dure. Se consideră că zăcămîntul de odontolită din Simorre (Franţa) ar reprezenta dinţi de mastodont.

Turcoazele prezintă un fenomen curios deoarece, uneori, cu timpul, îşi schimbă culoarea din albastru strălucitor în verde mat, fenomen cunoscut sub numele de „stingerea“ sau „moartea“ pietrei, ceea ce fireşte a dat naştere la o mulţime de legende care de care mai fantastice.

IV. COLORANŢI NATURALI

De la început trebuie să facem diferenţa dintre substanţe colorate şi coloranţi. Aceştia din urmă sînt doar acele substanţe colorate capabile să confere culoarea unui suport incolor; aşadar coloranţii reprezintă doar o parte din substanţele colorate care şi-au găsit aplicaţii tehnologice.

Arta de a vopsi şi colora cu siguranţă că a apărut odată cu omul în căutarea satisfacerii nevoii de frumos şi de imitare a naturii. Pînă nu demult, unica sursă de coloranţi folosiţi de oameni erau cei naturali, procuraţi din diverse „materii prime" vegetale, animale sau minerale.

Utilizarea coloranţilor naturali s-a făcut la început pentru ornamentarea pereţilor cavernelor, a vaselor de lut şi abia mult mai tîrziu la vopsitul ţesăturilor. Fiecare popor a descoperit treptat şi independent diverse surse locale de materiale capabile de a furniza produsele colorante pe care să le folosească apoi în arta vopsitului şi a picturii. Căutările şi descoperirile au evoluat continuu pentru îmbogăţirea gamei de nuanţe de culori în dorinţa firească spre perfecţionare. Rămîne o enigmă însă felul cum a fost posibilă prepararea de diverşi coloranţi din materii prime naturale incolore supuse unor tratamente chimice savante şi complicate pentru

a le transforma în coloranţi, fără ca acei antici tehnicieni chimişti să posede cele mai elementare noţiuni de chimie.

Vom încerca să prezentăm pe cei mai răspîndiţi coloranţi naturali utilizaţi pînă într-un trecut nu tocmai îndepărtat. Meseria de vopsitor avea un caracter de castă, care se transmitea din tată în fiu, iar reţetele folosite, adevărate procese tehnologice, erau secrete păstrate cu sfinţenie şi de aceea multe au fost pierdute odată cu meşterii care le foloseau.

Începînd din 1856, cînd a fost sintetizat şi fabricat primul colorant sintetic — mauveina — a început declinul rapid al utilizării coloranţilor de origine naturală, deşi în multe cazuri substanţele colorante sînt aceleaşi, dar modul de fabricare actual este diferit. Totuşi, chiar şi în prezent, unii coloranţi naturali mai sînt încă folosiţi, nu numai la treapta manufacturieră locală, ci chiar la cea industrială, mai ales în ramurile alimentare, a produselor farmaceutice şi la multe din preparatele cosmetice.

Majoritatea coloranţilor naturali sînt cunoscuţi de foarte multă vreme, cu mii de ani înaintea erei noastre. Unii dintre ei au fost daţi uitării, de obicei din cauza dificultăţilor de obţinere şi deci a „preţului de cost" prea ridicat, dar au fost redescoperiţi după ce s-au stabilit metodele lor de sinteză.

Vopselele primitive folosite la colorarea picturilor rupestre erau suspensii în apă de pigmenţi minerali. La început se foloseau doar creta pentru alb (un carbonat de calciu fosil provenit din cochiliile microscopice de foraminifere), negrul de fum (cărbune), ocrul natural (un hidrat de fier cristalin impurificat cu cantităţi variabile de argile) pentru galben şi diverse alte argile colorate.

Ulterior coloranţii de origine minerală erau folosiţi doar la colorarea sticlelor şi emailurilor, iar pentru

vopsitul țesăturilor se foloseau produse provenite din surse vegetale și animale.

Egiptenii foloseau cu aproximativ 3 000 ani înaintea erei noastre cinabrul (sulfură de mercur) și ocrul roșu obținut prin calcinarea ocrului natural, ca pigmenți roșii. Culoarea roșie era mult căutată și în vechime, fiind consacrată cultului soarelui și zeilor. Statuia lui Jupiter Capitolinul era vopsită în roșu cu cinabru, iar în serbările triumfale din Roma imperială, generalii învingători își vopseau fața și mîinile în roșu în semn de suprem omagiu. Un alt pigment roșu cunoscut și foarte mult utilizat și în prezent, miniul de plumb, a fost descoperit întîmplător, așa cum descrie Pliniu cel Bătrîn, în anul 70 e.n., cînd s-a produs un puternic incendiu în portul Pireu și au ars și mai multe depozite în care se găseau butoaie cu alb de plumb (carbonat bazic de plumb), care la temperatura respectivă s-a transformat în miniu de plumb, roșu.

Pentru galben, se foloseau galbenul egiptean (antimoniat de plumb) și auripigmentul (sulfură de arsen); pentru albastru — albastrul egiptean (silicat de cupru și calciu); pentru violet se folosea un silicat de magneziu, iar pentru verde se utilizau compuși de cupru (verdele de cupru) a căror metodă de preparare este descrisă pe larg de Vitruviu în sec. 1 e.n. Pentru alb se folosea albul de zinc (oxid de zinc), pe care alchimiștii îl numeau mai tîrziu lîna filozofală, utilizat și ca medicament, și albul de plumb (ceruză sau carbonat bazic de plumb) cunoscut de 2 000—3 000 de ani și a cărei metodă de preparare este descrisă în amănunțime de grecul Dioscoride prin anii 400 î.e.n.

Un rol important în realizarea unor picturi durabile a fost descoperirea și utilizarea diverșilor lianți care asigurau o aderență mai bună a colorantului la suportul pe care era depus. De-a lungul timpului s-au folosit ca lianți ceara, albușul de ou, rășini naturale și, în fine,

uleiurile vegetale. Frescele din Pompei, care și-au păstrat toată prospețimea pînă în zilele noastre, mai ales celebrele fresce din casa Vietti, au fost realizate cu vopsele de ceară.

Vopseaua cu ou a început să fie utilizată la începuturile erei noastre. Chiar unii pictori ai Renașterii (Mantegna, Rafael și chiar și Rubens mai tîrziu) foloseau vopselele cu liant de ou, excelente în ceea ce privește conservarea în timp a calității culorii.

Primele mențiuni asupra folosirii vopselelor cu ulei se găsesc în rețetele medicinale ale lui Gallien în sec. 2 e. n. și în papirusul din Leyda din sec. 3 e. n. În manuscrisele călugărilor Heraclius și Teofil din sec. 10—11 se menționează metodele de utilizare a uleiurilor sicative pentru fixarea coloranților pe piele, pergament și pentru realizarea picturilor pe lemn și pînză. Din aceste scrieri reiese că nici unul din autori nu ridică pretenții de inventator al metodelor descrise, ceea ce înseamnă că tehnicile erau cunoscute cu mult înainte. Ar părea deci că pictura cu ulei era cunoscută și practicată cu mult înainte de descoperitorul său oficial, pictorul flamand Jan van Eyck (1390—1441). În sec. 13 se menționează într-o carte de conturi a orașelor engleze Ely și Westminster, că apartamentele regale trebuiau decorate cu vopsele cu ulei. În 1720 apare primul magazin în strada du Four la Paris, al lui Charles Leclef, care vindea vopsele gata preparate pentru pictori. Această dată reprezintă trecerea de la prepararea culorilor de către artiști la fabricarea lor de către tehnologi.

Coloranții folosiți pentru vopsirea țesăturilor de bumbac, mătase sau lînă ar putea fi împărțiți în 3 grupe „tehnologice“ în raport cu nuanța care trebuie obținută. Prima grupă ar fi cea a culorilor fundamentale — roșu, galben și albastru, care se obțineau folosind un singur colorant.

În 1671, în Franța, se publică din ordinul lui Colbert, primul ministru al lui Ludovic al XIV-lea, „Instrucțiuni generale pentru vopsitul lînei și fabricarea lînei în toate culorile și pentru cultivarea materialelor sau ingredientelor utilizate" în care se defineau 5 culori de bază: albastru, roșu, galben, galben-roșcat (fauve) și negru. Prin amestecarea acestor 5 grupe de vopsele fundamentale se obțineau culorile și nuanțele la modă: *jaune croissant, paille, gris de perle, rouge cramoisy, rouge fleur de pêcher, bleu mignon, bleu Reyne* etc. O a doua grupă reprezintă pe cea a culorilor de amestec din doi coloranți prin care se realiza vopsirea în portocaliu, verde și violet, și în fine în a treia grupă erau cuprinse vopsirile în nuanțe de bronz, maron, bleumarin și negru, care se făceau folosind amestecuri de trei sau mai mulți coloranți.

Vom încerca să prezentăm pe unii din principalii coloranți naturali folosiți, clasificîndu-i după culoarea pe care o confereau suportului pe care erau depuși.

Roșu

În general, pentru vopsitul țesăturilor în nuanțe de roșu se foloseau atît coloranți vegetali, cît și coloranți animali, aceștia din urmă mult mai răspîndiți și apreciați pentru calitatea vopsirilor. Toți coloranții roșii fac parte din clasa coloranților cu mordant, adică sînt substanțe capabile de a forma complecși colorați cu unele metale, foarte stabili și greu solubili în apă, mărind astfel rezistența colorantului la spălare și lumină. Operația de mordansare se efectua în mod simplu, prin impregnarea țesăturii respective cu o sare solubilă a metalului, urmată apoi de impregnarea cu colorantul. În funcție de metalul folosit, se obțineau nuanțe și chiar culori foarte variate, acoperind tot spectrul de la roșu la violet.

Principalii coloranţi roşii vegetali erau garanţa, lemnul de santal, lemnul roşu de Brazilia şi cartamul.

Colorantul roşu **garanţa** se extrage din rădăcina plantei numită roibă sau garanţă, originară din Asia, dar foarte intens cultivată în majoritatea ţărilor europene. De fapt există aproximativ 35 specii de garanţă, cele mai bogate în colorant fiind speciile *Rubia tinctorum* şi *Rubia peregrina*. Pigmentul garanţei este alizarina (un derivat antrachinonic) care se găseşte în plantă sub forma unui glicozid numit acid ruberitric, în care zaharul este primaveroză. De fapt, pe lîngă alizarină, în rădăcina plantei se mai găsesc şi alţi pigmenţi — purpurina, purpuroxantina şi pseudopurpurina — toate de culoare roşie, şi xantina — galbenă.

Structura chimică a alizarinei a fost stabilită de Graebe şi Liebermann în 1868, iar în 1869 au reuşit s-o prepare în laborator. În acelaşi an Caro şi Perkin au pus la punct procedeul industrial de fabricare a alizarinei.

Deşi tehnica vopsirii cu alizarină era destul de complicată, totuşi colorantul era cunoscut şi folosit încă din epoca Egiptului predinastic. În evul mediu era cunoscut sub numele de stacojiu de Caen iar prin 1747 era folosit ca roşu de Adrianopole. După 1830, culturile de garanţă au cunoscut o perioadă de largă înflorire, după hotărîrea lui Louis-Phillipe ca pantalonii de uniformă ai armatei franceze să fie confecţionaţi din postav roşu, vopsit cu garanţă.

Cum s-a spus, culorile variază în funcţie de metalul folosit ca mordant, aşa cum rezultă mai jos în cazul alizarinei:

crom	— roşu albăstrui
staniu	galben portocaliu
fier	negru purpuriu
aluminiu	roşu (cunoscut sub numele de roşu turcesc)

Lemnul roşu de Brazilia este de fapt o denumire care era atribuită tuturor coloranţilor roşii vegetali extraşi din lemn, solubili în apă, care se obţineau prin extracţie cu apă fierbinte. Toţi arborii sînt diverse specii de *Caesalpinia*, originari din Japonia, Ceylon, Tailanda, Antile şi America de Sud. Colorantul era cunoscut şi sub alte denumiri, ca lemn de sappan, de pernambuco (vechea denumire a oraşului Recife din Brazilia) şi în fine de Brazilia. Materialul era cunoscut şi utilizat în Europa, fiind importat din India. Marco Polo, celebrul navigator din sec. 13, menţionează utilizarea acestor coloranţi pe scară largă în toate ţările asiatice pe care le vizitase. Portughezul Pedro Alvarez Cabral, cînd a ajuns în America în 1500, a găsit păduri întregi din aceşti arbori şi a denumit regiunea bresil, în portugheză braza însemnînd roşu ca para focului, nume care a rămas definitiv numele ţării.

Pigmentul roşu se numeşte brasileină — un compus din clasa flavonoidelor — şi se găseşte în lemnul arborelui ca leucoderivat numit brasilină, adică sub forma unei substanţe incolore care însă în contact cu aerul se oxidează şi formează colorantul. Structura chimică a brasileinei a fost stabilită în 1808 de Chevreuil.

Colorantul vopseşte toate fibrele naturale în culori vii, proaspete, rezistente la lumină şi spălat, dar fără rezistenţă la acizi şi baze, datorită proprietăţilor de indicator ale pigmentului. În acizi capătă o culoare galbenă, iar în alcalii se albăstreşte. Prin mordansare se obţin următoarele coloraţii: roşu albăstrui cu aluminiu, portocaliu cu staniu şi gri-violet cu fier.

Lemnul de santal, un arbore care creşte în Ceylon şi Java, conţine ca pigment santalina sau desoxisantalina. Acesta se folosea la vopsitul direct (fără mordant) al lînii în roşu-cărămiziu, dar vopsirile erau nerezistente la lumină şi alcalii. Se foloseşte chiar şi în prezent la

colorarea unor produse alimentare, produse zaharoase lichioruri etc.

Cartamul sau șofrănașul sălbatic (*Charthamus tinctorius*) conține ca pigment cartamina, un compus cu structură de chalconă. Se folosea la vopsirea directă în roșu sau roz a bumbacului și mătăsii naturale, dar nu vopsea lîna. Se mai folosea și la colorarea unor băuturi și la prepararea de farduri și cosmetice.

Principalii coloranți roșii animali erau coșenila, kermesul și lac-lacul.

Coșenila se extrage din corpul unor insecte (*coccus cacti*) care trăiesc pe un arbore, opunția, în Mexic. Corpul uscat al insectei, de culoare gri, capătă prin măcinare o culoare roșu-albăstruie și conține aproximativ 50% pigment. 1 kg de colorant se obținea din circa 140 000 insecte, iar de pe o plantație de 3 ha se puteau obține doar 30 kg colorant pur. Pigmentul izolat și studiat de Dimroth în 1818 este acidul carminic, un derivat antrachinonic. Provenind din Mexic, unde băștinașii îl foloseau din antichitate, în Europa nu a fost cunoscut și utilizat decît după 1518, înlocuind materialul similar, kermesul. Prima dată a fost folosit în Europa la colorarea celebrelor tapiserii de Gobelins. Numele de coșenilă provine din spaniolul cochinilla, care înseamnă păduche de lemn. Coșenila se folosea doar la vopsitul lînii și a mătăsii, dînd materiale rezistente la spălat și lumină. Mordansat cu aluminiu și staniu se obțineau culori vii și strălucitoare de roșu carmin și stacojiu.

Pigmentul preparat prin sinteză se mai folosește și astăzi la colorarea unor obiecte de uz casnic, a florilor artificiale, la lacuri, cerneluri și a produselor alimentare. Lacul de aluminiu, cunoscut sub numele de carmin se folosea ca fard.

În arabă **kermes** înseamnă vierme mic și într-adevăr se extrage din femela unei insecte, *coccus ilicis*, din

aceeași familie cu coșenila, care se fixează pe stejai, avînd forma unor bobițe roșii (de aceea se mai numea gogoașă de roșu stacojiu), răspîndit în Portugalia, Spania și Maroc. Colorantul se extrăgea prin colectarea insectei femele înainte de depunerea ouălelor, expunerea la vapori de oțet, uscare și măcinare.

Pigmentul roșu este acidul kermesic, tot un derivat antrachinonic foarte asemănător ca structură cu acidul carminic, studiat pentru prima dată tot de Dimroth.

Colorantul este unul din cei mai vechi pigmenți cunoscuți, la fel de vechi ca indigoul. Pînă în sec. 16 era singurul colorant roșu folosit în Europa, după care a fost înlocuit treptat cu coșenila mexicană. Colorantul era mult folosit de egipteni și indieni la vopsitul mătăsii. Grecii l-au preluat de la indieni, denumindu-l coccus, iar apoi romanii l-au denumit coccigranum. Prin sec. 12 și 13, în Germania, recoltarea kermesului se făcea cu mari ceremonii religioase la o anumită dată din an și între anumite ore. Germanii îl numeau sîngele Sf. Ion. Poate cel mai mult kermesul a fost folosit în Turcia căci servea la vopsitul fesurilor în roșu.

Lac-lacul reprezintă exsudația solidificată a unei insecte, *coccus ficus* sau *coccus lacca*, care crește pe anumiți copaci din India, din aceeași familie cu coșenila și kermesul. Produsul care se culege conține aproximativ 10—13% pigment, respectiv acid laccainic, tot un derivat antrachinonic, foarte asemănător cu acizii carminic și kermesic, restul fiind o rășină. Denumirea derivă din hindustană, *lakh* — însemnînd o sută de mii, ceea ce arată cam cîte insecte trebuiau culese pentru a obține produsul. Colorantul se găsește în lichidul abdominal al insectei de unde se extrăgea cu o soluție fierbinte de carbonat de sodiu și apoi se trata cu sodă caustică. Schmidt în 1887 a dat numele de acid laccainic. Colorantul avea cam aceleași utilizări ca și coșenila, dar era mai puțin răspîndit.

Firește mai existau și alți coloranți naturali utilizați în trecut, dar cu o răspîndire mai limitată, locală și care treptat au dispărut complet. În China se folosea monascina pentru a colora unele băuturi și care se extrăgea dintr-o ciupercă. În Yemen se folosea o pulbere rășinoasă roșie extrasă din tegumentul semințelor unor arbuști (*Flemingia congesta*) din care se preparau cosmetice și se pare că era un excelent medicament contra gripei.

Portocaliu

Singurul colorant natural care vopsește direct toate tipurile de fibre în portocaliu este **orleanul** care se extrage din fructul roșu al arbustului tropical *Bixa orellana*, originar din America Centrală, Antile, America de Sud. Orleanul conține ca pigment bixina de culoare galbenă a cărei structură carotinoidică a fost stabilită de Kuhn în 1928. Sinteza totală a bixinei a fost realizată de Weedon în 1953. Bixina se folosea destul de mult și la coloratul unor produse alimentare, pe lîngă utilizarea sa la vopsitul fibrelor.

Diversele nuanțe de portocaliu se obțineau însă folosind coloranți galbeni cu mordanți de crom, staniu sau aluminiu, culoarea variind de la portocaliu la roșcat.

Colorant	Mordant	Culoare
Lemn galben de fiset	staniu	portocaliu
Quercitron	staniu	portocaliu viu
	aluminiu	portocaliu închis
Gosipetină	aluminiu	portocaliu închis
	staniu	portocaliu roșcat
Boabe de Persia	aluminiu	portocaliu închis
	staniu	portocaliu viu
Curcumă	staniu	portocaliu roșcat

Ca număr, coloranţii naturali galbeni sînt poate cei mai mulţi, toţi fiind de origine vegetală şi relativ uşor accesibili. În general toate vopsirile se făceau direct fără mordant, dar uneori se foloseau şi diverse săruri metalice pentru a realiza o diversificare a nuanţelor.

Lemnul galben de fiset (sau de **scumpie**) reprezintă miezul lemnos al unui arbust care se cultiva în multe ţări europene, mai ales în Ungaria, de unde derivă şi numele de lemn de Ungaria. Colorantul propriu-zis este fisetina, un flavonol, care se găseşte combinat cu glucoză şi tanin. Se folosea la vopsitul lînii şi al pieilor, dînd un galben viu, nu foarte rezistent la lumină, dar rezistent la spălat. Se folosea în special la vopsirea brocarturilor.

Lemnul galben de Brazilia reprezintă miezul lemnos al unor arbuşti (*Morus tinctoria* şi *Maclura tinctoria*), care cresc în America şi în Antile. Extractul de lemn galben se cunoştea şi sub numele de galben de Cuba; conţine doi coloranţi: morina şi maclurina, combinaţi cu tanin. Morina este o flavonă izomeră cu quercetina. Ea formează cu o serie de ioni metalici (aluminiu, scandiu, galiu) complecşi puternic fluorescenţi verde-albastru, proprietate pentru care este folosită în chimia analitică. Maclurina este în schimb un compus fenolic, diferit ca structură de morină.

Lemnul galben dă vopsiri slabe, în nuanţe de galben-cafeniu pe lînă. Se mai folosea la mătase şi bumbac, însă cel mai mult în amestec cu alţi coloranţi pentru a obţine aşa-numitele culori compuse.

Rezeda sau **smeurica** — colorantul florilor de rezedă sălbatică sau rechie (*Reseda luteola*). Pigmentul este luteolina, o flavonă, destul de răspîndită şi în alte flori. Deşi culoarea este mai puţin intensă, este unul din cei mai rezistenţi şi unul dintre cei mai vechi

coloranți galbeni naturali. Se folosea la vopsirea lînii și a mătăsii naturale. Mordansat cu aluminiu se obțineau colorații portocalii.

Quercitronul, scoarța stejarului negru (*Quercus tinctoria nigra*) originar din America de Nord, conține un pigment quercetina, care este un derivat de flavonol. Quercetina se găsește în multe plante — pansele, trandafiri galbeni, ceai, hamei — dar în cantități mici. Vopsește toate fibrele în nuanțe de galben verzui, cu rezistență bună la spălat, dar mai slabă la lumină.

Boabe de Persia (sau boabe de Avignon) sînt fructele uscate a diverse specii de *Rhamnus*, un arbust cu ramuri spinoase și flori galben-verzui, care crește în sudul Europei și în Asia. Se foloseau fructele uscate sau se făceau extracte din fructele crude verzi. Conține un amestec de pigmenți sub formă de glicozizi între care predomină ramnetina, alături de quercetină. Se folosea la imprimarea țesăturilor de bumbac, la vopsirea hîrtiei, a pieilor, a produselor zaharoase, dînd culori rezistente la lumină și la apă.

Curcuma, colorant galben extras din bulbii rădăcinilor unor plante (*Curcuma longa* și *Curcuma tinctoria*) din China, India și Java. Pigmentul se numește curcumină și face parte din clasa chalconelor. Este unul dintre singurii coloranți substantivi naturali ai bumbacului. Vopsește însă toate fibrele dar este puțin rezistent la lumină și la alcalii, de aceea era folosit în mică măsură. Utilizări mai largi a căpătat la colorarea unor produse alimentare — unt, ulei, brînză, grăsimi animale, sau în amestec cu lemnul albastru la vopsirea în negru a pieilor și fulgilor. În vopsirile cu mordant dă nuanțe de la portocaliu, cu aluminiu, pînă la brun, cu fier. În vechime era mult utilizat în China la vopsitul mătăsii și a hîrtiei de mătase.

Piuri sau **galbenul de India** este folosit în pictură. Pigmentul este euxantona, care se extrăgea din urina

bovinelor hrănite cu frunze de mango (*Mangifera indica*) care conțin un colorant, mangiferina (euxantonă cuplată cu acid glucuronic) care este metabolizată și eliminată ca euxantonă în cantitate de aproximativ 56 g/zi.

Șofranul, produs obținut din stigmatele uscate ale florilor de șofran (*Crocus sativus*) sub forma unei pulberi mirositoare galben aurie, utilizată și ca mirodenie. Pigmentul șofranului este crocetina, un carotinoid asemănător ca structură cu bixina, care se găsește în plantă ca glicozid, numit crocină, cuplat cu două molecule de gentiobioză. În afară de crocină, planta mai conține și un alt compus cu gust amar, picrocrocina, un glucozid al safranolului (un compus terpenic). Șofranul se folosește atît la vopsitul fibrelor, cît și al alimentelor. S-a stabilit că crocetina are și un rol de mesager chimic (agent chemostatic) la unele alge verzi, ca atractant sexual.

În afară de coloranții menționați, mai erau cunoscuți și alți pigmenți galbeni, ca **dafnetina,** din scoarța de *Daphnae alpina,* care vopsea lîna mordansată cu săruri de crom și aluminiu în nuanțe de galben-oliv; **trifolitina** din floarea de trifoi roșu, care vopsea în galben deschis; **dosetina,** dintr-un arbust japonez, care vopsea lîna, bumbacul și mătasea în galben strălucitor; **excoecarina,** din lemnul de abanos din Jamaica, folosită mai ales în Anglia la vopsitul pieilor și a mătăsii în diverse nuanțe gălbui; **embelina,** un derivat benzochinonic, colorantul fructelor unei specii de coacăz care crește în India și care pe lîngă vopsitul mătăsii și a lînii se folosea și ca medicament cu acțiune antihelmintică; **lawsona,** colorant cu structură naftochinonică, izolat din frunzele de henna, un arbust ornamental indian, utilizată mai ales la vopsitul părului.

Vopsiri mai puţin rezistente şi în nuanţe mai puţin intense se obţineau folosind şi infuzii de coajă de măr, foi de ceapă, flori de muşeţel sau de hamei.

Verde

Singurul colorant natural verde folosit la vopsirea ţesăturilor este **verdele de China** (numit în chineză **locao**), care se extrage din scoarţa şi rădăcina unor specii de cruşîn (*Rhamnus chlorophoros*) care creşte în China. Pigmentul este acidul locanic, care se găseşte în stare naturală sub forma unui glicozid numit acid locaonic, zahărul corespunzător purtînd numele de locaoză. Se folosea numai la vopsirea bumbacului şi a mătăsii în nuanţe verzi-albăstrui, caracterizate printr-o stabilitate deosebită la lumină.

Vopsiri în verde, dar cu rezultate mult mai modeste şi mai puţin rezistente se puteau realiza şi folosind concentrate de frunze de urzici sau de pelin, capabile de a vopsi direct lîna.

Culoarea verde se obţinea însă prin amestecul de galben cu albastru. Vopsirea se putea face fie lucrînd într-o baie conţinînd cei doi coloranţi amestecaţi, fie folosind mai întîi o baie albastră (indigo, pastel sau lemn albastru), urmată apoi de o nuanţare într-o baie de colorant galben, sau invers.

Verdele de Saxa se obţinea în baie de lemn galben, urmată de o baie de lemn albastru sau de indigo.

Verdele dragon şi **verdele fund de sticlă** se obţineau din baie de rezeda urmată de baie de lemn albastru.

Nuanţele de verde oliv se puteau realiza folosind diverşi coloranţi galbeni (lemn galben de fiset, lemn galben de Brazilia, quercitron, boabe de Persia) cu mordant de fier.

Foarte utilizată chiar şi în prezent pentru colorarea în verde este **clorofila**, în special în industriile alimen-

tară și cosmetică. Preparatele de clorofilă se obțin prin extracție cu acetonă-apă din urzici fin măcinate, după uscare, și adsorbția pigmentului pe pulbere de talc. Clorofila nu are nici un efect fiziologic la om și de aceea se folosește la colorarea unor alimente, ca uleiurile, grăsimile, guma de mestecat, albușurile de ou, gelatina. În cosmetică, fiind solubilă în grăsimi, servește la fabricarea de creme, loțiuni, pastă de dinți, de cele mai multe ori cînd este necesară mascarea unor culori galbene nedorite. Se mai folosește la cernelurile netoxice folosite la imprimarea pe alimente sau obiecte de igienă și la obținerea săpunurilor. Becquerel (1874) folosea clorofila ca sensibilizator în filmele fotografice pentru domeniul roșu. În prezent, clorofila rămîne unul dintre puținii coloranți naturali cu utilizări multiple.

Albastru

Existau destul de puțini coloranți albaștri naturali, dar în schimb se remarcau prin calități tinctoriale excepționale. Toți coloranții albaștri erau vegetali.

Indigoul este unul dintre cei mai vechi coloranți naturali utilizați de om. În scrierile sanscrite (acum 4 000 ani) era descrisă metoda de preparare a indigoului. Mumiile egiptene aveau haine vopsite cu indigo. Și în mormintele incașe s-au găsit veșminte colorate în albastru cu indigo. *Indicum* în latinește se atribuia la început oricăror lucruri de proveniență din India, dar încetul cu încetul a fost folosit numai pentru colorantul albastru care se importa de acolo, așa cum explică Pliniu. După căderea imperiului roman a dispărut și utilizarea indigoului în Europa, fiind reintrodus cam prin sec. 12 de venețieni care îl aduceau din Orient și dețineau monopolul comerțului cu indigo. În țările din nordul Europei, indigoul a început să fie folosit doar

prin sec. 16—17 în competiție cu un alt colorant albastru natural local — pastelul. Pentru a apăra pe fabricanții de pastel, prin sec. 17 apăruseră legi care condamnau utilizarea indigoului considerat ca fiind toxic și coroziv și avînd acțiuni malefice asupra oamenilor. Victoria totală a indigoului s-a produs în 1745 cînd Lordul Amiralității în timpul domniei lui George II a hotărît ca uniforma ofițerilor din marina britanică să fie de culoarea albastră a costumului de călărie a ducesei de Bedford, vopsit cu indigo.

Indigoul se extrage din frunzele unei plante din familia *Indigofera*, originară din India, dar care se mai găsește sub diverse variante în Japonia și America. În frunze se găsește un glucozid incolor al indoxilului, numit indican*. Prin macerarea plantelor în apă sub acțiunea unei enzime existente chiar în plantă, se pune în libertate indoxilul, de culoare galbenă, iar acesta în prezența oxigenului din aer se oxidează aproape instantaneu, formînd indigoul albastru. Din 300 kg frunze uscate de indigofera se putea obține 1 kg indigo pur.

Structura chimică a indigoului a început să fie studiată mai sistematic prin 1826, cînd s-a obținut anilina prin distilarea uscată a indigoului. Prin 1705 un patent englez afirma că se poate obține indigo din cărbune. Structura reală a fost stabilită de A. von Baeyer prin cercetările sale care au durat aproape 20 de ani, între 1865 și 1883. El a reușit să facă și sinteza totală a indigoului doar în 1897. Prepararea industrială a indigoului a început în 1901 în Germania, dar competiția între indigoul sintetic și cel natural a luat sfîrșit doar

* Există și un indican animal care reprezintă un produs de metabolism și detoxicare al indolului din organismul animal și care se elimină în mod normal în cantități mici prin urină. Indicanul animal este tot un derivat incolor al indoxilului, dar diferă complet ca structură de indicanul vegetal.

în 1922 cînd Anglia a renunţat definitiv la utilizarea colorantului natural.

Indigoul este un colorant de cadă. Acestea sînt substanţe insolubile în apă, cu caracter neutru şi care nu formează săruri solubile. Pentru vopsire se face mai întîi reducerea colorantului în mediu bazic rezultînd leucoderivatul incolor care este solubil şi are capacitatea de a se fixa pe fibră. Leucoindigoul sau indigoul alb depus pe fibră se oxidează rapid cu oxigenul din aer, iar materialul se colorează după uscare mai întîi în verde, iar final în albastru. Dacă în cada de indigo se introduce acid sulfuric, se obţine un derivat care vopseşte lîna şi mătasea într-o culoare albastru mai închis, cu nuanţe arămii. Acest colorant se numeşte indigocarmin şi reprezintă celebrul **albastru de Saxa.**

Pastelul era tot un indigo care se extrăgea în Europa în sec. 16 din drobuşor sau cardama (*Isatis tinctoria*), dar concentraţia de substanţă activă din plantă fiind mai mică şi metodele de purificare în trecut fiind nesatisfăcătoare, vopsirile cu pastel erau mai puţin frumoase decît cele cu indigo, ceea ce explică triumful indigoului asupra pastelului.

Pastelul era cunoscut totuşi din timpuri străvechi. Triburile de picţi, popor celtic care locuia în Anglia în epoca lui Cezar, foloseau pastelul sub denumirea de *wad* sau *woad* (derivînd de la numele zeului războiului Woddin) pentru a-şi vopsi faţa cînd plecau la luptă. De prin sec. 17—18 utilizarea pastelului a dispărut aproape complet, fiind înlocuit cu indigo.

Lemn albastru, lemnul unui arbore de mărime mijlocie (*Haematoxylon campechuarum*) din familia Caesalpiniaceelor, originar din America Centrală şi de Sud, care creşte în zonele foarte umede. A fost descoperit de spanioli, odată cu descoperirea Americii, în golful Campecho din Mexic, de unde derivă şi denumirea franceză de lemn de Campêche. Cînd a fost introdus în Europa

a apărut o oarecare confuzie deoarece din diverse motive economice era transportat sub denumirea de lemn de Brazilia. În 1581 un act al Parlamentului englez (în epoca lui Elisabeta I) interzice utilizarea sa în Anglia pe motivul că ar da culori nerezistente, în realitate pentru a concura comerţul spaniol. Totuşi, pînă la jumătatea sec. 19 acesta rămîne alături de indigo principalul colorant albastru.

Partea lemnoasă a arborelui are o culoare variind de la roşu aprins la brun închis, în funcţie de vîrsta copacului. Colorantul este hematoxileina, un derivat cromenic, a cărei structură a fost stabilită de Chevreuil în 1812. În partea lemnoasă, colorantul se găseşte sub forma leucoderivatului, numit hematoxilină, care însă în contact cu aerul se oxidează la pigmentul albastru. Acesta vopsea bine lîna şi mătasea în albastru, iar bumbacul în bleumarin. În prezenţa mordanţilor se obţineau diverse culori de la albastru la negru: crom — albastru-negru; staniu — violet; aluminiu — albastru; fier — negru; cupru — negru cu reflexe verzui. De asemenea în prezenţa taninului se obţin vopsiri în negru şi de aceea se mai utilizează şi în prezent la tăbăcirea şi vopsirea în negru a pieilor.

Recent s-a făcut o experienţă interesantă şi anume deoarece cărţile de telefon sînt în permanentă schimbare şi trebuie frecvent reeditate, s-au preparat cerneluri de tipografie folosind lemn albastru care se decolorează după un anumit interval de timp, permiţînd astfel recuperarea hîrtiei şi reutilizarea sa.

Violet

Colorantul natural specific violet, foarte preţuit în antichitate, poate nu atît pentru calităţile sale tinctoriale, cît mai ales pentru faima şi preţul său de cost foarte ridicat, este celebra **purpură tireniană.** Pigmen-

tul se extrăgea dintr-o moluscă (*Murex brandaris*) care trăia pe malul Mediteranei, în special în regiunea celebrei cetăţi feniciene Tir. În perioada 3 000—2 000 î.e.n. în Tir exista o industrie înfloritoare de coloranţi, mai ales prin prelucrarea unei cantităţi imense de moluşte. Colorantul ca atare nu se găseşte în corpul animalului, dar rezultă prin expunerea la soare a unei secreţii glandulare produsă de moluscă. Colorantul era celebru pentru că era foarte scump şi greu de procurat, de aceea era cunoscut şi sub numele de purpură imperială. Legenda spune că pigmentul ar fi fost descoperit de un păstor care şi-ar fi pătat tunica aşezîndu-se pe cochilia unui murex şi care încîntat de noutatea culorii, vrînd să-şi cucerească iubita, i-a dăruit o tunică vopsită cu acest colorant.

Mai există şi alte crustacee din care se pot extrage coloranţi de acest tip, cum erau **purpura haemostana** şi **purpura lapillus,** care se extrăgeau din crustacee care trăiesc pe ţărmurile Ţării Galilor şi pe coastele Norvegiei.

Ca structură chimică, purpura tireniană este un derivat al indigoului şi anume 6,6′-dibromoindigo. Structura sa a fost stabilită de Friedländer în 1908, reuşind să obţină din 12 000 moluşte doar 1,4 g colorant.

Coloraţia care se obţinea cu acest colorant nu era la fel de frumoasă pe măsura faimei sale. Pentru nuanţare se foloseau uneori şi mordanţi de plumb, care dădeau o culoare purpurie roşcată, sau de cupru, cu tente mai violete. În prezent se folosesc o serie de coloranţi sintetici avînd structuri similare, dar cu proprietăţi superioare, cum sînt Brillant-indigo sau Albastru de Ciba.

Orseille-ul este un alt colorant natural violet care se extrăgea din licheni sub acţiunea amoniacului. Se folosea la vopsirea directă a ţesăturilor, dar rezultau culori violete foarte puţin rezistente.

Violetul de Tokio este un colorant extras din rădăcinile unei specii de mărgeluşe care creşte mai ales în

Japonia, avînd ca principiu activ shikonina, un derivat naftochinonic.

Din rădăcinile de *Alkanna tinctoria* se extrage un compus cu structură aproape identică cu shikonina, numit alcanină, care în stare pură are un aspect roşu brun cu luciu arămiu. Ambii compuşi se foloseau la vopsirea bumbacului şi mătăsii mordansate cu aluminiu în nuanţe de violet. De asemenea, pigmenţii se foloseau şi ca produse cosmetice, pentru vopsitul pleoapelor.

Unii coloranţi roşii şi albaştri dau diverse nuanţe de violet în funcţie de mordantul folosit, aşa cum reiese din tabel:

Colorant	Mordant	Culoare
Orseille	magneziu	violet strălucitor
	zinc	violet pur
	fier	violet brun
Garanţă	fier	violet
Coşenila	crom	roşu violaceu
Lemn roşu de Brazilia	fier	violet
Lemn albastru	aluminiu	violet închis
	staniu	violet

Diversele tonuri de violet se obţineau însă în mod curent şi mai ieftin tratînd materialul vopsit în prealabil în roşu cu o baie de colorant albastru de diverse concentraţii. De la vechiul popor galic s-a păstrat prin tradiţie procedeul de a colora în violet prin amestecarea în aceeaşi baie a pastelului cu garanţa în proporţii diverse după tonul dorit.

Negru

Prin adaosul de tanin şi de oxizi de fier la coloranţii albaştri se obţinea culoarea neagră. Cel mai mult se folosea lemnul albastru, destul de sărac în tanin, dar cu

adaosuri de substanțe tanante. În funcție de aceste adaosuri s-au diferențiat diversele tonuri de negru, cum sînt negrul rezistent, de Viena, de Bédarieux, de Montauban, de Tours, de Geneva. În unele cazuri se adăuga chiar lemn galben bogat în substanțe tanante.

Toate tonurile de negru se foloseau mai ales pentru vopsitul mătăsii. Pentru vopsitul lînii și a bumbacului se mai folosea un colorant negru extras dintr-o specie de licheni și ciuperci. Pigmentul se găsește în stare naturală în proporție de 0,5% în materialul uscat. El are o structură fenantrenică și poartă numele de acid teleforic. Se folosea de obicei în soluție de amoniac drept colorant de cadă.

Alte culori

Specific pentru obținerea de tonuri maronii era colorantul care se găsește în coaja nucilor verzi. Acesta se găsește în stare naturală sub formă de leucoderivat dar se oxidează imediat la aer formînd o colorație brun închisă. Pigmentul se numește **juglonă** și este un derivat naftochinonic foarte asemănător cu lawsona. Se folosea la vopsitul lînii cu mordanți de aluminiu, crom sau fier în tonuri de la galben la brun. Bumbacul mordansat cu aluminiu era vopsit în roz cu juglonă.

Colorantul cu aspect brun-șocolatiu al ciupercilor care cresc pe trunchiurile copacilor bătrîni din pădurile de conifere (*Paxillus atromentosus*) numit atromentină, un derivat benzochinonic, servea la vopsitul în tonuri brune șterse sau cu nuanțe verzui, dacă se folosea un mordant de crom.

Alți coloranți naturali galbeni sau roșii pot da diferite nuanțe de maron în funcție de mordant:

Colorant	Mordant	Culoare
Catechu	crom sau cupru	maron
Coaja de stejar sau de anin	aluminiu sau fier	maron frumos
Lemn galben de Brazilia	fier	maron oliv
Quercitron	crom	maron roşcat
	fier	maron închis
Ramnetină	crom	maron roşcat
Gosipetină	crom	maron închis
Lemn roşu	crom	maron oliv

Nuanţe de roz se puteau obţine folosind o infuzie de flori de tei sau de frunze de gutui sălbatic.



Ajunşi la capătul acestei scurte incursiuni în lumea naturală colorată trebuie remarcată încă o dată potenţialitatea de creare a materiei vii sau nevii şi să relevăm capacitatea omului în lupta sa continuă şi neabătută de descifrare a necunoscutului în vederea stăpînirii raţionale a lumii înconjurătoare. Eforturile imense depuse pentru studiul naturii, pentru izolarea şi cercetarea structurii tuturor substanţelor naturale, inclusiv a celor colorate, nu sînt vane şi inutile. Cunoscînd natura, descoperindu-i legile stabilite printr-o foarte lungă şi înceată dezvoltare continuă, omul a învăţat la rîndul lui să creeze, perfecţionîndu-se într-una şi reuşind să-şi depăşească maestrul. Coloranţii sintetici de astăzi nu sînt decît rezultatul studiului intensiv al coloranţilor naturali. Primul pas a fost izolarea colorantului natural şi descifrarea identităţii sale. Apoi a urmat fireşte dorinţa de a-l putea prepara pe căi mai simple şi mai ieftine şi într-adevăr perioada de început a dezvoltării chimiei coloranţilor sin-

tetici, adică cu 100 ani în urmă, se caracterizează prin munca asiduă de realizare în laborator și apoi în industrie a celor mai des folosiți dintre coloranții naturali. După ce omul a reușit să-i reproducă, imaginația sa creatoare l-a făcut să inventeze alții noi, mai mult sau mai puțin asemănători, dar incomparabil mai mulți, mai variați și mai buni pentru toate scopurile dorite. Chimia coloranților sintetici a devenit în scurt timp o ramură de sine stătătoare, într-o permanentă dezvoltare impetuoasă, cu realizări și performanțe de excepție.

CUPRINS


LICEUL „GHEORGHE LAZĂR"
BIBLIOTECA
BUCUREȘTI

Coli de tipar: 3,25; Tirajul: 16.800 ex.
Bun de tipar: 21.VIII.1978

Lucrarea a fost executată la
I. P. Sibiu; Sos. Alba Iulia nr. 40
Republica Socialistă România
Comanda nr. 194



ȘTIINȚA PENTRU TOȚI

41

De ce este iarba verde și ruginii frunzele de toamnă? De ce este roșu sîngele, macul sau trandafirul? De ce-i albastru cerul și albăstrița de pe cîmp? De ce este liliacul alb sau liliachiu? Ce sînt acelea nestematele? Tainele lumii colorate, a bogăției de nuanțe din natură, a jocului cromatic încîntător care ne înconjoară și ne luminează viața, ne aduce satisfacții și bucurii, sînt descifrate cu migală și perseverență de om în nesecătuita lui sete de adevăr și cunoaștere, pentru descoperirea și stăpînirea tuturor legilor de dezvoltare. O parte din aceste căutări sînt prezentate aici pentru a înțelege cum vedem, ce putem face și ce sînt culorile din natură.

Editura științifică și enciclopedică

Lei 2,60